

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

LUIZ HENRIQUE SCHMIDTT JANUÁRIO

**ANÁLISE DO REVESTIMENTO DE 410NiMo DEPOSITADO PELO
PROCESSO DE SOLDAGEM ARAME TUBULAR CONTRA O DESGASTE
POR RISCAMENTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2018

LUIZ HENRIQUE SCHMIDTT JANUÁRIO

**ANÁLISE DO REVESTIMENTO DE 410NiMo DEPOSITADO PELO
PROCESSO DE SOLDAGEM ARAME TUBULAR CONTRA O DESGASTE
POR RISCAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, do curso superior de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Emillyn Ferreira Trevisani Olivio

Coorientador Prof. Dr. Celso Alves Corrêa.

CORNÉLIO PROCÓPIO
2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

Luiz Henrique Schmdtt Januário

Análise Do Revestimento De 410NiMo Depositado Pelo Processo De Soldagem Arame Tubular Contra O Desgaste Por Riscamento

Trabalho de conclusão de curso apresentado às **14h00** do dia **26/06/2018**, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico no programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dra. Émillyn Ferreira Trevisani Olívio (Orientadora)

Prof. Dr. Celso Alves Correa (Coorientador)

Prof. PhD. João Roberto Sartori Moreno (Membro)

Prof. Dr. Celso Alves Correa (Membro)

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

Dedico este trabalho à minha família, pricipalmete ao meu pai Antônio e minha noiva Nathália

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meu pai que me incentivou, e me ajudou de todas as maneiras a realizar esse sonho de me formar.

Agradeço a minha noiva Nathália, que sempre esteve do meu lado me apoiando.

Agradeço a minha família que sempre esteve ao meu lado.

Agradeço aos meus amigos de faculdade Lucas, Pedro e Marcus.

Agradeço principalmente ao meu amigo Marcus, que sempre me incentivou nos estudos, ajudando a estudar para as provas e na confecção de trabalhos.

Agradeço aos meus orientadores Émillyn e Celso, que utilizaram do seu tempo para a realização dessa trabalho.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

Januário, Luiz Henrique Schmitt. **ANÁLISE DO REVESTIMENTO DE 410NiMo DEPOSITADO PELO PROCESSO DE SOLDAGEM ARAME TUBULAR CONTRA O DESGASTE POR RISCAMENTO.** 2018. 36f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

O desgaste de materiais é um grande problema nas indústrias, pois geram muitos custos e paradas, o processo de revestimento de materiais auxilia para melhorar o desempenho de peças e elementos. Revestimentos e recuperação de peças e elementos de materiais são de total importância para todo ramo industrial, pois aumenta a eficiência de máquinas e equipamentos, diminui custos, manutenção e parada de máquinas. Na busca por novos métodos e materiais para serem utilizados em revestimentos, este trabalho traz uma boa abordagem, analisando o revestimento por soldagem arame tubular do aço inoxidável martensítico CA6NM, com metal de adição o 410 NiMo. Neste trabalho será analisado a microestrutura, a microdureza e a resistência ao desgaste por riscamento do revestimento.

Palavras-chave: Revestimento. Soldagem arame tubular. 410NiMo. Desgaste por Riscamento. CA6NM.

ABSTRACT

Januário, Luiz Henrique Schmidtt. **ANALYSIS OF 410NiMo COATING DEPOSITED BY THE WELDING PROCESS TUBULAR WIRE AGAINST RISK WEAR. 2018 36f.** Undergraduate thesis (Bachelor of Mechanical Engineering) - Federal Technology University of Parana. Cornélio Procópio,2018.

Material wasting is a major problem in industries because it generates a lot of costs and stops, the process of coating materials helps to improve the performance of parts and elements. Coating and parts recovery of elements of materials are of total importance for every industry, as it increases the efficiency of machines and equipment, reduces costs, maintenance and stopping. In the search for new methods and materials to be used in coatings, this work brings a good stewardship, analyzing the tubular wire welding coating of CA6NM martensitic stainless steel with addition metal or 410 NiMo. In this work the microstructure, the microhardness and the resistance to the grinding of the coating will be analyzed.

Keywords: Key words: Coating. Welding tubular wire. 410NiMo. Scratch Wear. CA6NM.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Ilustração esquemática da soldagem por fusão	14
Figura 2: Esquemática do processo FCAW	16
Figura 3: Equipamentos básicos para o processo de FCAW	17
Figura 4: Gráfico ilustrando a passividade dos aços-cromo expostos durante 10 anos a uma atmosfera industrial.	18
Figura 5: Desgaste abrasivo com dois corpos (dir.) e desgaste abrasivo com três corpos (esq.)	21
Figura 6: Máquina de jateamento.....	23
Figura 7: Central de Soldagem Inversal 450 do fabricante IMC Soldagem	24
Figura 8: Sistema de alimentação modelo STA-20, do fabricante IMC Soldagem	24
Figura 9: Tocha MIG reta TBI 511 AUT.....	25
Figura 10: Carro motriz de soldagem modelo Tartilope do fabricante SPS	25
Figura 11: Fresadora FUMilling 2 do fabricante Clark	26
Figura 12: Forno industrial do fabricante Sanshis	27
Figura 13: Amostra pronta para ensaio de riscamento.....	29
Figura 14: Microdurômetro	30
Figura 15: Equipamento para o ensaio de riscamento.....	30
Figura 16: Haste com ponta de diamante e os pesos utilizados no ensaio	31
Figura 17: Amostra após o ensaio de riscamento	31
Figura 18: Resultado do ensaio de microscopia ótica da amostra	32

Figura 19: Desenho esquemático do local de realização do ensaio de microdureza Vickers	33
Figura 20: Gráfico do ensaio de microdureza.....	34
Figura 21: Resultado do ensaio de riscamento	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades mecânicas do aço CA6NM segundo a ASTM A 743.....	19
Tabela 2: Composição química do aço inoxidável martensítico CA6NM.	22
Tabela 3: Composição química do metal de adição EC410NiMo.....	22
Tabela 4: Dados técnicos da Central de Soldagem - Inversal 450 do fabricante IMC Soldagem	24
Tabela 5: Parâmetros empregado no jateamento da superfície da amostra	27
Tabela 6: Parâmetros utilizados no processo deposição por arame tubular	28
Tabela 7: Valores das medidas de Microdureza Vickers.....	33
Tabela 8: Resultado do ensaio de riscamento	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	12
1.1.1	Objetivo Geral.....	12
1.1.2	Objetivos Específicos	13
1.2	Justificativas	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	Soldagem	14
2.1.1	Soldagem por arame tubular	15
2.2	Aço Inoxidáveis	17
2.2.1	Aço CA6NM.....	18
2.3	Desgaste	20
2.3.1	Desgaste por riscamento.....	20
3	METODOLOGIA	22
3.1	Materiais	22
3.1.1	Metal de base	22
3.1.2	Metal de adição	22
3.2	Equipamentos	23
3.2.1	Jateamento.....	23
3.2.2	Equipamentos utilizados para soldagem por arame tubular	23
3.2.3	Equipamentos para o fresamento.....	26
3.2.4	Equipamento utilizado para o aquecimento da amostra	26
3.3	Métodos	27
3.3.1	Preparação da amostra	27
3.3.2	Microscopia ótica	29
3.3.3	Microdureza Vickers	29
3.3.4	Ensaio de riscamento	30
4	RESULTADO E DISCUSSÕES	32
4.1	Microscopio ótica	32
4.2	Microdura Vickres	32
4.3	Ensaio de Riscamento	34
5	CONCLUSÃO	36

REFERÊNCIAS.....	37
-------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

O desgaste, principalmente por erosão, é um grande problema para as empresas, pois esse fenômeno diminui consideravelmente a eficiência e vida útil de elementos de equipamentos. O desgaste é ocasionado pela movimentação contínua de partículas ou substâncias em contato com a superfície de um material (SOUZA, 2011).

Um exemplo da ocorrência deste fenômeno é o desgaste de peças de turbinas, que geram paradas e perdas de eficiência em usinas hidrelétricas, além de custos elevados para reparos. O desgaste está associado ao perfil hidráulico da turbina combinado com partículas sólidas presentes na água (RIJEZA METALURGIA, 2015).

O processo de revestimento de materiais é uma grande saída para diminuir os efeitos do desgaste e aumentar a vida útil de máquinas. Atualmente nos elementos de turbinas, são feitos revestimentos de carboneto de tungstênio e carboneto de cromo, que são altamente resistentes ao desgaste, aumentando a vida útil desses elementos em aproximadamente 300%, segundo a empresa Rijeza Metalurgia (RIJEZA METALURGIA, 2015).

A busca de novas técnicas de revestimento, como, o melhor processo para fazer o revestimento, quanto classificando os melhores materiais para adição, tem a intenção de aumentar a eficiência de equipamentos nos mais variados ramos de indústria, diminuindo os efeitos causados pelo desgaste abrasivo, e também a recuperação de peças com defeitos. Contudo, esse trabalho traz o revestimento realizado pelo processo de soldagem com arame tubular, com metal de adição sendo o aço AWS ER410NiMo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo avaliar o quanto é diminuído os danos causados pelo desgaste por riscamento em aço inoxidável ASMT CA6NM, revestidos com 410NiMo, pelo processo de soldagem por arame tubular.

1.1.2 Objetivos Específicos

Fazer o revestimento depositado pelo processo de soldagem por arame tubular e realizar os ensaios de microscopia ótica, microdureza Vickers e de riscamento, para verificar a resistencia desse revestimento ao desgaste.

1.2 Justificativas

A busca de novas técnicas de revestimento, tem a intenção de aumentar a eficiência de equipamentos nos mais variados ramos de indústria, como por exemplo bombas e turbinas, diminuindo os efeitos causados pelo desgaste abrasivo. Como também a recuperação de peças e elementos que sofreram esse tipo de desgaste.

Nessas novas técnicas destacam-se: novos materiais para serem utilizados como revestimento e processo de aplicação do revestimento. Como é o caso desse trabalho que traz uma abordagem de revestimento utilizando aço 410NiMo, pelo processo de de soldagem por arame tubular.

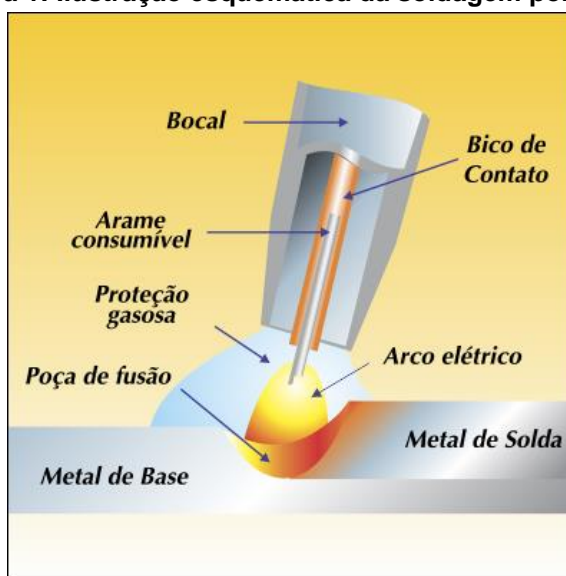
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Soldagem

Processos realizados para fabricação e recuperação de peças, equipamentos, estruturas, entre outros, a soldagem é amplamente utilizado na área da mecânica. Conhecido por ser um processo utilizado para união de peças e elementos, a soldagem tem mais finalidades, tais como, deposição de material sobre uma superfície, recuperação de peças desgastadas, como também para o revestimento de peças (MODENESI, 2012).

Segundo Modenesi (2012), o processo de soldagem tem por objetivo principal obter uma união localizada de dois materiais, podendo ser produzida por dois meios: por pressão, ou por fusão (Figura 1). Este segundo consiste na aplicação localizada de calor, na região a ser feita a junta soldada, criando uma fusão entre o metal de base e o metal de adição, destruindo as interfaces pela solidificação do metal fundido.

Figura 1: Ilustração esquemática da soldagem por fusão



Fonte: CASTOLIN EUTECTIC, 2018

O calor gerado para a fusão dos metais na soldagem pode ser obtido de varias formas, mas, o mais usual na indústria é por arco elétrico, e dentre eles destaca-se (MODENESI, 2012).

- Soldagem ao arco submerso;
- Soldagem com eletrodo revestido;
- Soldagem com arame tubular;
- Soldagem MIG/MAG;
- Soldagem TIG

Neste trabalho será realizado o revestimento pelo processo de soldagem por arame tubular.

2.1.1 Soldagem por arame tubular

A soldagem por arame tubular também conhecido como FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) é bem semelhante aos processos de soldagem MIG/MAG e eletrodo revestido. Pode-se dizer que a soldagem por arame tubular é a união das vantagens desses dois processos de soldagem, que aglutina em um único processo, vantagens como um processo semiautomático, ou automático, com revestimento fusível formador de gases de proteção, escória e outros. (PORTAL METALICA CONTRUÇÃO CIVIL, 2017).

Dentre as vantagens para utilização do FCAW pode-se destacar (BALMER TRADIÇÃO EM SOLDAS, 2017)

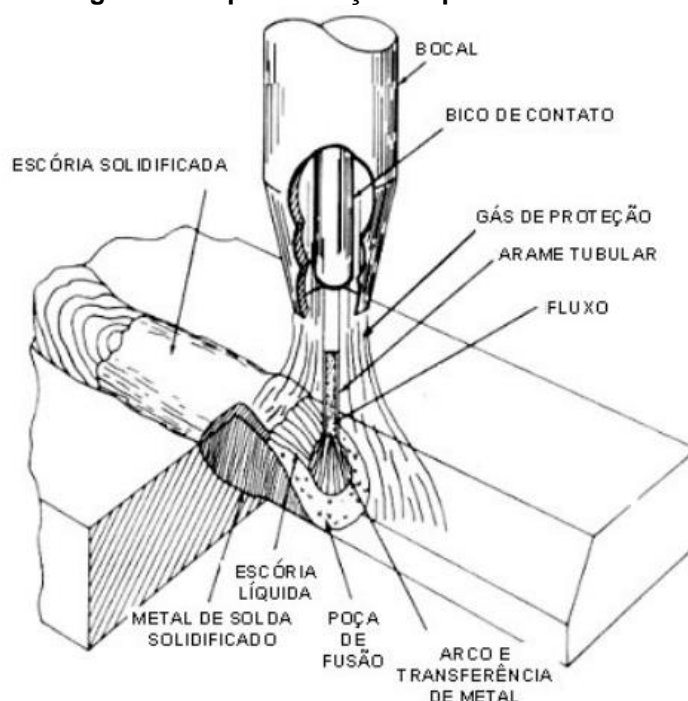
- Alta qualidade do metal depositado;
- Solda uniforme;
- Solda vários tipos de aços e em grandes faixas de espessuras;
- Relativamente alta eficiência de deposição;
- Alta produtividade;
- Uso de eletrodos auto protegidos elimina a necessidade do uso de aparelhos de gás além de ser mais tolerantes para as condições de ar livre;
- Alto tolerância com relação a contaminantes que podem originar trincas.

O processo FCAW pode parecer ser mais custoso se comparado com processo de eletrodo revestidos, entretanto, se considerar a maior taxa de deposição, o rendimento e a melhor qualidade da solda, que objetiva uma maior redução no tempo de soldagem, pode-se classificar esse tipo de processo como mais rentável.

Além de todas essas vantagens mencionadas, a menor abertura e fechamento de arco, sem esmerilhamento, sem ressecagem antes da soldagem, são atrativos para tornar o FCAW como um dos processos mais utilizados para revestimentos de peças (KESTRA CONSUMÍVEIS DE SOLDA, 2017).

O processo de soldagem de arame tubular é definido como uma fusão utilizando calor de um arco elétrico formado entre um eletrodo metálico tubular, este sendo contínuo e consumível, e a poça de solda. Uma esquematização do processo pode ser observada pela Figura 2: (ESAB BRASIL, 2017).

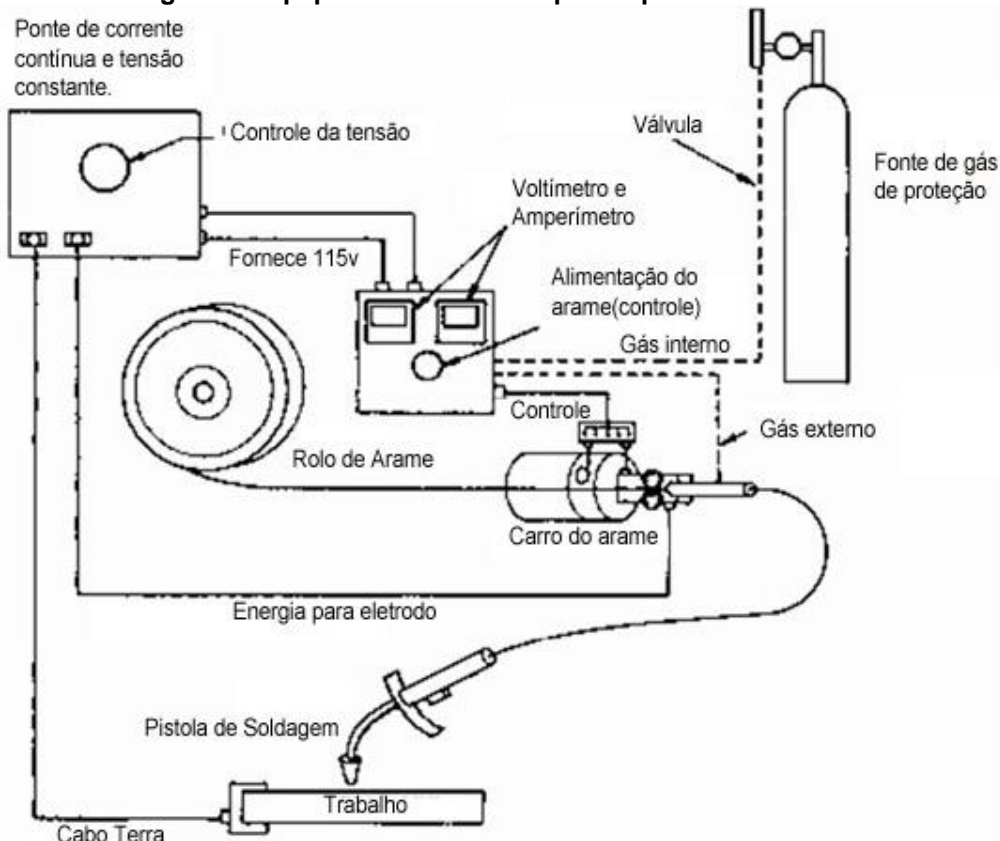
Figura 2: Esquematização do processo FCAW



Fonte: ESAB DO BRASIL, 2017

O FCAW pode ser tratado como uma variação do processo MIG/MAG. O que difere, é o arame utilizado como eletrodo consumível, que contém fluxo de gás no seu interior. Sendo assim equipamentos e as técnicas aplicadas para o processo de soldagem FCAW, são semelhantes do processo MIG/MAG. A Figura 3 mostra os equipamentos básicos necessários para realização do processo FCAW. (PORTAL METALICA CONTRUÇÃO CIVIL, 2017)

Figura 3: Equipamentos básicos para o processo de FCAW



Fonte: PORTAL METÁLICA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2017

2.2 Aço Inoxidáveis

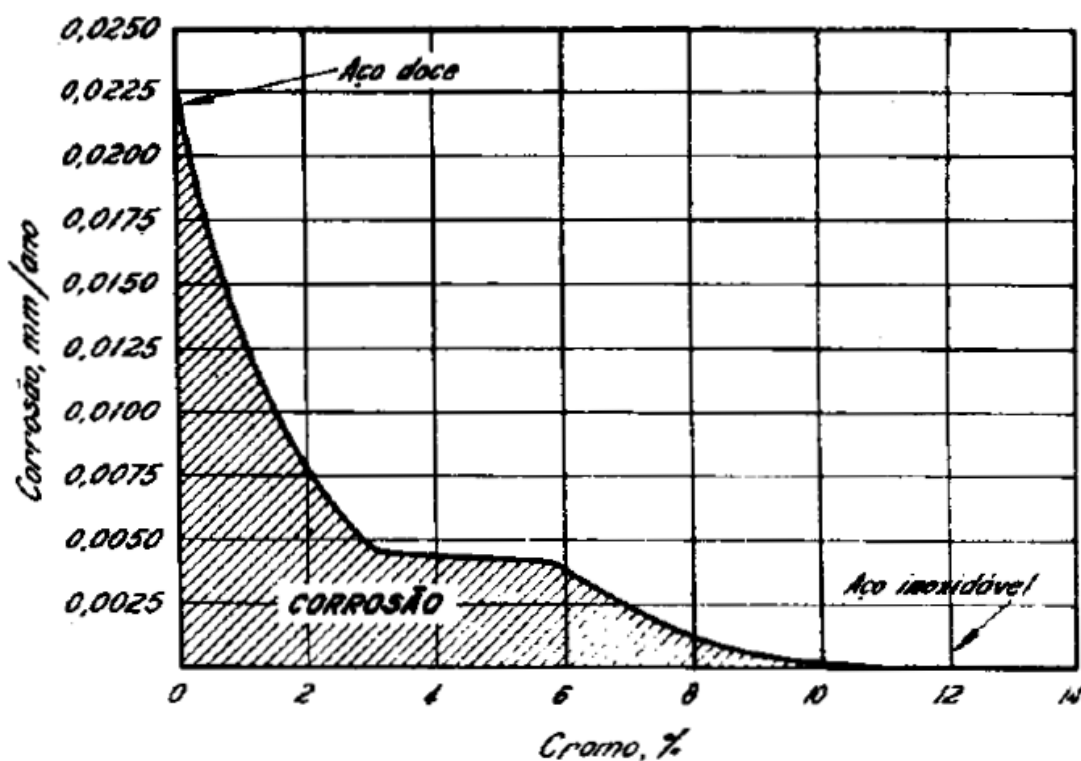
Pode-se considerar que a corrosão em metais são atividades químicas ou eletroquímicas, das substâncias presentes em meio circunvizinho em que os metais são submetidos (CHIAVERINI, 1977).

Aproximadamente no ano de 1912 através de estudos realizados tanto na Alemanha como na Inglaterra, surgiram os aços inoxidáveis. Nessa época nos estudos feitos na Inglaterra, os aços inoxidáveis tinham uma composição de liga de Fe-Cr, contendo cerca de 13% de cromo, sendo muito próximos dos aços que hoje em dia é chamado de 420, já na Alemanha os aços tinham uma composição de Fe-Cr-Ni, também sendo muito próximos dos hoje conhecidos como 302 (CARBÓ, 2008).

Segundo Carbo (2008), a criação de uma película protetora é o princípio de proteção, dos aços inoxidáveis, contra a corrosão, pois essa película isola, ou seja, separa o metal do meio em que está inserido, onde tem um grande potencial de reação de oxidação.

Um elemento capaz criar essa película é o cromo, pois o mesmo, quando usado em valores elevados nas ligas de ferro – superior de 10% - é o mais eficiente do que qualquer outro. A Figura 4 a seguir mostra a importância do cromo para a proteção contra a corrosão dos metais, numa composição entre 10% e 12% de liga (CHIAVERINI, 1977).

Figura 4: Gráfico ilustrando a passividade dos aços-cromo expostos durante 10 anos a uma atmosfera industrial.



Fonte: CHIAVERINI, 1977.

Os aços inoxidáveis são divididos em dois grandes grupos: série 400 e série 300, dependendo da sua estrutura dos elementos de liga. Os aços da série 400 podem ser divididos em dois sub-grupos: os ferríticos e os martensíticos, o primeiro em geral apresenta um nível cromo mais alto e o carbono mais baixo, já o segundo um nível de cromo mais baixo e o de carbono mais alto (CARBÓ, 2008).

2.2.1 Aço CA6NM

Largamente utilizado para fabricação de componentes de turbinas hidráulicas, o aço inoxidável martensítico, macio, por ter baixo teor de carbono, CA6NM foi desenvolvido na Suíça, e tem como característica, melhorar a soldabilidade, fabricação e propriedades mecânicas (MARTINS, 2017).

Segundo Martins (2017), aços inoxidáveis são classificados pela Alloy Casting Institute, e seu nome CA6NM é caracterizado pela sua composição química e utilização, sendo:

- C: primeira letra corresponde resistência a corrosão;
- A: indica o valor nominal de níquel presente no material, numa escala de A a Z;
- 6: indica a porcentagem máxima de carbono;
- N: presença de níquel;
- M: presença de molibdênio.

A Tabela 1 mostra propriedades mecânicas do aço CA6NM:

Tabela 1: Propriedades mecânicas do aço CA6NM segundo a ASTM A 743

Resistencia a Tração (MPa)	Tensão de escoamento (MPa)	Alongamento (%)
755	550	15

Fonte: HENKE, 1998.

Aços inoxidáveis martensíticos, como é o caso do aço CA6NM, apresentam bons desempenhos em aplicações contra ações de corrosão e erosão por cavitação, por isso sua escolha para esse projeto. O aço inoxidável 410NiMo tem sua composição química bem semelhante ao aço CA6NM, sendo assim é um dos materiais mais utilizados para recuperação de peças fabricadas com aço CA6NM (NASCIMENTO, 2011).

2.3 Desgaste

A perda de substância de um corpo sólido, causado pela ação mecânica, ou seja, por contato ou movimento relativo entre o mesmo com uma outra substância sólida, líquida ou gasosa é conhecida como desgaste (NASCIMENTO, 2011).

Segundo Nascimento (2011), a ação do desgaste pode ser tanto na remoção de partículas da superfície do material, quanto a mudança da sua geometria superficial.

Em geral o processo de desgaste é indesejado e prejudicial na indústria mecânica. Os tipos de desgaste são diferenciados tanto pela ação de contato entre os corpos ou substâncias, como também pelo tipo de substâncias envolvidas no processo. (NASCIMENTO, 2011)

O desgaste pode ser medido de acordo com a modificação da geometria superficial ou da massa do corpo que foi submetido o processo e as formas mais comuns de desgaste são (NASCIMENTO, 2011)

- Adesivo;
- Fadiga;
- Abrasivo;
- Erosivo;
- Por fricção;
- Por cavitação.

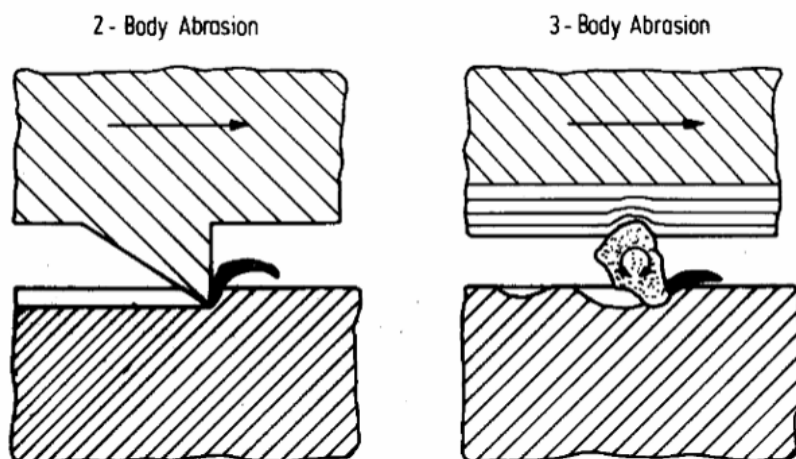
Neste trabalho será feito o ensaio de desgaste abrasivo por riscamento, em um solda de revestimento um aço 410 NiMo feito através do processo de soldagem por arame tubular.

2.3.1 Desgaste por riscamento.

Considerado com um processo de desgaste abrasivo pelo seu mecanismo de desgaste, ou seja, é realizado o desgaste de material movimentando a partícula abrasiva sobre a superfície de um material com dureza igual ou menos do que a do abrasivo (MARANHÃO, 2006).

Essa movimentação pode ser a dois ou a três corpos, ambos são mostrados na Figura 5.

Figura 5: Desgaste abrasivo com dois corpos (dir.) e desgaste abrasivo com três corpos (esq.)



Fonte: TSCHIPTSCHIN, 2018.

O desgaste abrasivo com dois corpos, ocorre quando dois corpos com durezas diferentes de interação com movimentação na superfície, este desgaste também é chamado de ensaio de riscamento (MARANHO, 2006).

3 METODOLOGIA

As preparações dos corpos de provas foram realizadas no Laboratório de Soldagem e Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnologia Federal do Paraná (UTFPR), campus Cornélio Procópio.

3.1 Materiais

3.1.1 Metal de base

O metal de base utilizado foi o aço inox martensítico CA6NM, com composição química nominal segundo a Tabela 2.

Tabela 2: Composição química do aço inoxidável martensítico CA6NM.

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
CA6NM	0,03	0,30	0,45	0,02	0,003	13,0	3,7	0,34

Fonte: BEHENE, 2014.

O corpo de prova foi usinado de tal modo a obter as dimensões finais de 124 x 50 x 13 mm. E foi realizado o jateamento para poder executar o processo de soldagem na superfície.

3.1.2 Metal de adição

O metal de adição foi o aço AWS EC410NiMo, com a dimensão de 1,20 mm de diâmetro, com a composição química mostrada na Tabela 3:

Tabela 3: Composição química do metal de adição EC410NiMo.

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
410NiMo	0,027	0,440	0,590	0,024	0,006	12,500	4,860	0,430

Fonte: CORREA apud ESAB DO BRASIL, 2018.

Resistência à tração de 910 MPa e limite de escoamento de 830 MPa

3.2 Equipamentos

3.2.1 Jateamento

O processo de jateamento da superfície do metal de base foi realizado na máquina modelo BRJ - 600 mostrado na Figura 6.

Figura 6: Máquina de jateamento



Fonte: O autor, 2018.

3.2.2 Equipamentos utilizados para soldagem por arame tubular

O processo de revestimento por soldagem foi realizado na Central de Soldagem modelo Inversal 450, do fabricante IMC Soldagem, mostrado na Figura 7. Com os dados técnicos de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4: Dados técnicos da Central de Soldagem - Inversal 450 do fabricante IMC Soldagem

Corrente nominal	280 A
Corrente Máxima	450 A
Tensão em Vazio	68 V
Alimentação	220, 380, 440V trifásica

Fonte: O autor, 2018.

Figura 7: Central de Soldagem Inversal 450 do fabricante IMC Soldagem

Fonte: O autor, 2018.

O sistema de alimentação (tracionador) de arame, modelo Inversal STA-20, da amrca IMC Soldagem, mostrado na Figura 8.

Figura 8: Sistema de alimentação modelo STA-20, do fabricante IMC Soldagem

Fonte: O autor, 2018.

Foi utilizado uma tocha reta refrigerada a água, do modelo Tocha MIG reta TBI 511 AUT – 2,0 m do fabricante TBI, mostrado na Figura 9.

Figura 9: Tocha MIG reta TBI 511 AUT



Fonte: O autor, 2018.

A soldagem foi automatizada pelo carro matriz: tartarruga de soldagem com deslocamento controlável nos eixos X e Y, modelo Tartílope do fabricante SPS – Sistemas e Processos de Soldagem, mostrado na Figura 10.

Figura 10: Carro matriz de soldagem modelo Tartílope do fabricante SPS



Fonte: O autor, 2018.

O medidor de velocidade de alimentação de arame modelo MVA-1 do fabricante SPS – Sistemas e Processos de Soldagem.

3.2.3 Equipamentos para o fresamento

Foi utilizado uma fresadora modelo FUMilling 2 do fabricante Clark, para preparar a superfície da amostra, deixando plana para posteriormente a realização do ensaio de riscamento mostrado na Figura 11.

Figura 11: Fresadora FUMilling 2 do fabricante Clark



Fonte: O autor, 2018.

3.2.4 Equipamento utilizado para o aquecimento da amostra

Antes do processo de soldagem, a amostra foi submetida ao aquecimento, utilizando o forno industrial do fabricante Sanshis, mostrado na Figura 12.

Figura 12: Forno industrial do fabricante Sanshis



Fonte: O autor, 2018.

3.3 Métodos

3.3.1 Preparação da amostra

Antes de iniciar o processo de revetimento a amostra foi submetida ao processo de jateamento para a limpeza superficial, para posteriormente ser aquecida e ai sim ser depositado o metal.

Os parâmetros utilizados para operação são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5: Parâmetros empregado no jateamento da superfície da amostra

Parâmetro	Valores utilizados
Abrasivo	Óxido de alumínio branco
Tipo de jato empregado	Jato por pressão
Gás de transporte do abrasivo	Ar comprimido
Pressão de jateamento	80 à 100 psi

Fonte: O autor, 2018.

Após o jateamento da superfície, foi realizado o aquecimento da amostra, até um valor aproximado de 100°C,

A deposição do primeiro cordão do metal de adição foi realizado a uma temperatura de aproximadamente 80°C.

Após o primeiro cordão foi aguardado até que a temperatura da amostra voltasse aos mesmos 80°C, utilizado para realizar o primeiro cordão. Este passo foi feito para a deposição de todos os cordões até o final do revestimento.

Os parâmetros utilizados para a realização do processo é mostrado na Tabela 6.

Tabela 6: Parâmetros utilizados no processo deposição por arame tubular

Parâmetro	Valores utilizados
Gás de proteção	Argônio + 2% Oxigênio
Ângulo da tocha	90°
Posição/Distância do bico de contato peça	Plana/ 36 mm
Corrente	230 A
Velocidade do arame	8,0 m/min
Tensão de referência	45 V
Sobreposição de cordão	50%
Velocidade do soldagem	300 mm/min

Fonte: O autor, 2018.

Foi verificado durante o processo de soldagem uma corrente de aproximadamente 205 A e uma tensão de 43 V, ambos os dados observado na máquina.

Após a deposição do revestimento, o mesmo foi preparado para ser realizado os ensaios de riscamento e microdureza Vickers, deixando plana sua superfície, a amostra pode ser observada na Figura 13.

Figura 13: Amostra pronta para ensaio de riscamento



Fonte: O autor, 2018.

A espessura do revestimento após a fresagem é de 3 mm.

3.3.2 Microscopia ótica

Foi analisado a microestrutura da zona fundida da deposição, com o auxílio do microscópio ótico Olympus BX51, localizado no Laboratório de Materiais e Superfícies, da UFPR – Curitiba.

3.3.3 Microdureza Vickers

A análise da microdureza Vickers foi feita com o auxílio do microdurômetro modelo HV – 1000B, do fabricante PANATEC ATMI, mostrado na Figura 14.

Os ensaios de microdureza foram realizados na zona fundida do material. Os parâmetros foram: uma carga de 500 gf e um tempo de 12 segundos.

Figura 14: Microdurômetro



Fonte: O autor, 2018.

3.3.4 Ensaio de riscamento

O ensaio da resistência ao desgaste abrasivo por riscamento, foi realizado com o auxílio do equipamento da Figura 15, localizado no Laboratório Aspersão Térmica e Soldagens Especiais – UFPR - Curitiba.

Figura 15: Equipamento para o ensaio de riscamento



Fonte: O autor, 2018.

Antes de realizar o ensaio, lavou-se a amostra com acetona em uma lavadora ultrassônica por um tempo de 5 minutos, posteriormente, pesou-se a amostra em uma balança de precisão de 0,0001 g.

O ensaio consiste em posicionar a amostra no local indicado na máquina e fazer o risco, utilizando uma haste com a ponta de diâmetro, com um peso pré determinado.

Para o ensaio deste trabalho foram utilizado a haste e os pesos da Figura 16:

Figura 16: Haste com ponta de diâmetro e os pesos utilizados no ensaio



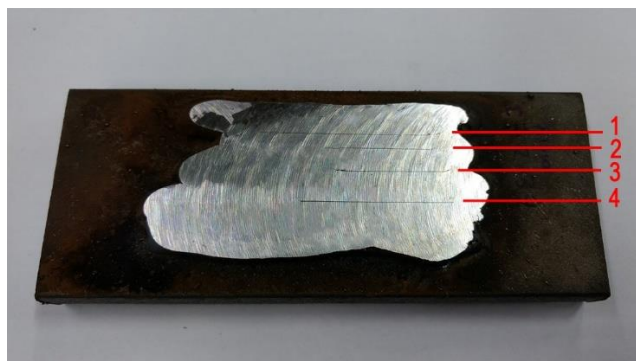
Fonte: O autor, 2018.

O primeiro risco foi feito somente com peso da haste, que possui uma massa total de 1448,46 g.

O segundo, terceiro e quarto risco foram feitos com a haste e um peso de 1007,38g, 5034,08 g e 6039,33 g respectivamente.

A Figura 17 mostra a amostra após o ensaio de riscamento.

Figura 17: Amostra após o ensaio de riscamento



Fonte: O autor, 2018.

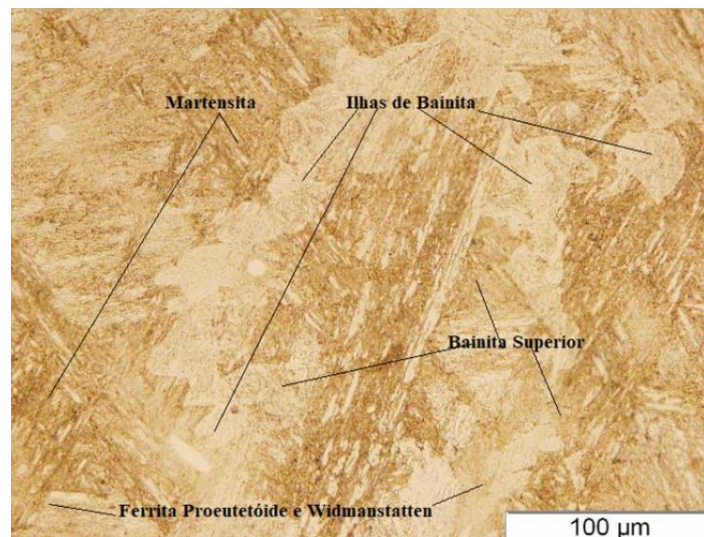
4 RESULTADO E DISCUSSÕES

4.1 Microscopia ótica

O ensaio de microscopia foi realizado para analisar a microestrutura da zona fundida (depositada).

Pode-se observar pela Figura 18, que mostra que não houve trincas durante o processo, também é observado a presença de martensita, ilhas de bainita, bainita superior, ferrita, proeutetóide e estruturas de Widmanstatten.

Figura 18: Resultado do ensaio de microscopia ótica da amostra



Fonte: CORREA, 2018.

4.2 Microdura Vickres

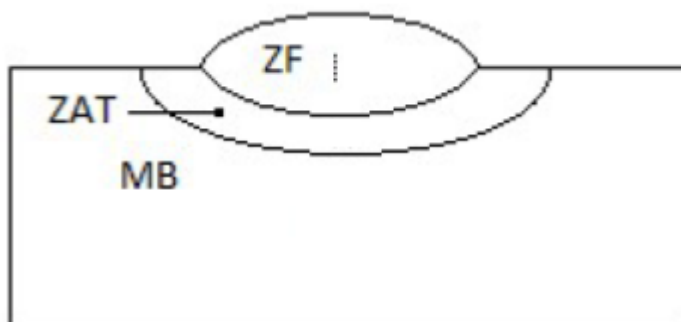
Foram realizados 5 medidas de microdureza sobre a zona fundida do cordão de solda. Os resultados podem ser observados na Tabela 7 :

Tabela 7: Valores das medidas de Microdureza Vickers

Pontos	Valor de dureza medido (HV)
1	419,7
2	410,9
3	404,5
4	408,8
5	400,3
Média	408,8
Desvio Padrão	7,31

Fonte: O autor, 2018.

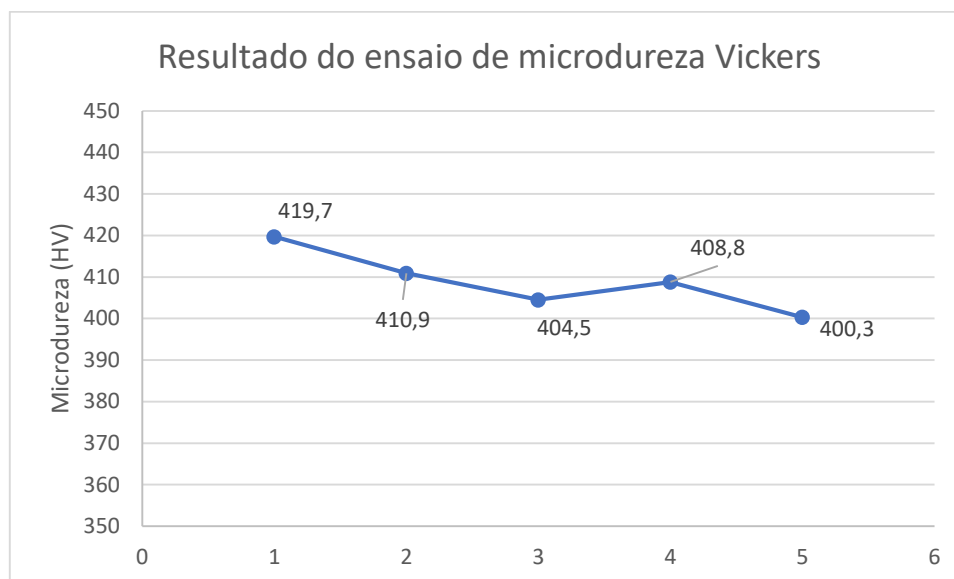
A Figura 19, mostra um desenho esquemático representando aonde foi-se realizado o ensaio de microdureza.

Figura 19: Desenho esquemático do local de realização do ensaio de microdureza Vickers

Fonte: Adaptado de CORREA, 2018.

Pode-se verificar a as medidas de microdureza variam entre 400 a aproximadamente 420 HV, o valor de desvio padrão é relativamente pequeno, significando que a amostra é homogênea, levando em conta as medidas de microdureza. A Figura 20 mostra o gráfico que ilustra as medidas.

Figura 20: Gráfico do ensaio de microdureza



Fonte: O autor, 2018.

4.3 Ensaio de Riscamento

Para medir os efeitos do ensaio de riscamento, foram realizados 4 testes. Os resultados podem ser observado na Tabela 8

Tabela 8: Resultado do ensaio de riscamento

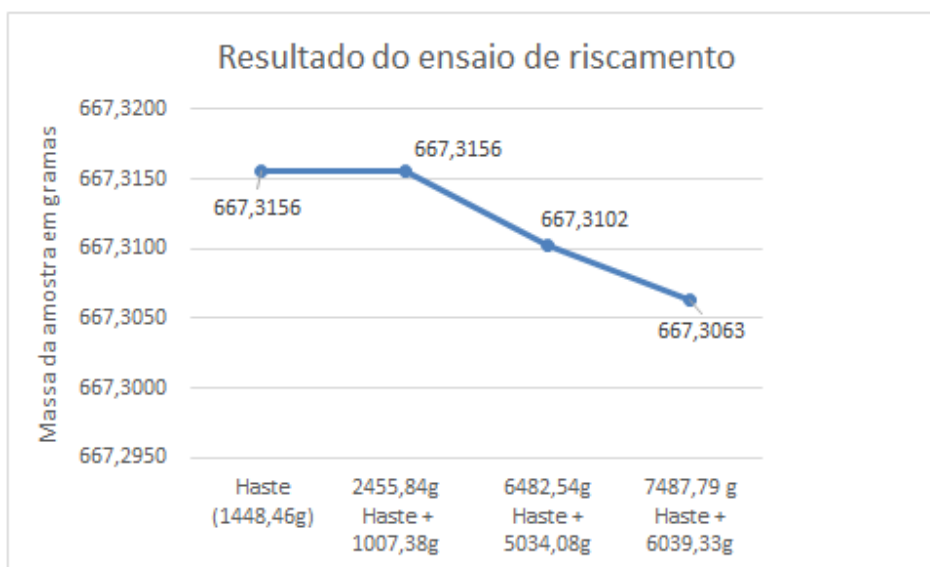
		Massas (gramas)
Massa inicial da amostra		667,3156
Massa da haste		1448,46
Ensaio com:	Massa da amostra (gramas)	
1º	Haste = 1448,46 g	667,3156
2º	Haste+1007,38 g = 2455,84 g	667,3156
3º	Haste+5034,08 g = 6482,54 g	667,3102
4º	Haste+6039,33 g = 7487,79 g	667,3063
Perda total de massa (g)		0,0093

Fonte: O autor, 2018.

É possível observar que ao final do ensaio, a amostra teve uma perda de massa total de 0.0093g.

A Figura 21 ilustra a perda de massa da amostra.

Figura 21: Resultado do ensaio de riscamento



Fonte: O autor, 2018.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos pelos ensaios, pode-se concluir que:

Pelo ensaio de microscopia ótica, na zona fundida do revestimento, não se verificou a presença de trincas, e a microestrutura possuía martensita, ilhas de bainita, bainita superior, ferrita, proeutetóides e estruturas de Widmanstätten.

Pelo ensaio de microdureza Vickers, na zona fundida do revestimento, o resultado é em média 408,8 HV, com um desvio padrão relativamente baixo de 7,31, o que indica uma maior certeza do resultado.

Pelo ensaio de riscamento, o revestimento obteve uma resistência considerável ao desgaste abrasivo, pois sua perda de massa foi de 0,0093g, um valor muito baixo a ser considerado, tendo o resultado como satisfatório.

Pode-se indicar que o revestimento de 410NiMo depositado pelo processo de soldagem por arame tubular é muito eficaz contra esse tipo de desgaste, podendo ser utilizado para reparação de elementos e peças que sofreram ou tenham possibilidade de sofrer esse desgaste.

REFERÊNCIAS

BALMER TRADIÇÃO EM SOLDAS. **Processo de soldagem ao arco elétrico arame tubular**. Acesso em 24 de outubro de 2017. Disponível em: < www.balmer.com.br/balmer/wp.../12/BALMERApostilas-técnicas-Arame-Tubular.pdf>

BEHENE, L.; **Estudo da Alteração De Parâmetros do Processo de Soldagem Plasma com Alimentação de Vareta em Substrato de Aço ASTM 743 tipo CA6NM**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

CARBÓ, H. M. **Aços inoxidáveis: aplicação e especificações**. ArcelorMittal Inox Brasil. 2008.

CASTOLIN EUTECTIC. **Processo de soldagem** Acesso em 28 de junho de 2018. Disponível em: < <http://www.eutectic.com.br/equipamentos-soldagem-mig-mag.html>>

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**, 4^oed., São Paulo, ABM, 1977

Corrêa, C. A. **Uma contribuição ao processo de soldagem de revestimento com arame tubular pulsado de um aço CA6NM aplicando o método Taguchi / Celso Alves Corrêa**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2018.

ESAB. **Apostila de arames tubulares**. Acesso em 24 de outubro de 2017. Disponível em<http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901098rev1_apostilaaramstubulares_ok.pdf>

HENKE S. L.. **Desenvolvimento de procedimento de soldagem de aço inoxidável martensítico tipo CA- 6NM sem tratamento térmico posterior**. Tese de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

KESTRA CONSUMÍVEIS DE SOLDA. **Vantagens dos arames tubulares sobre os eletrodos revestidos**. Acesso em 24 de outubro de 2017. Disponível em <<http://www.kestra.com.br/uploads/article/files/3/vantagens-dos-arames-tubulares-sobre-os-eletrodosrevestidos.pdf>>

MARANHO, O. **Aspersão Térmica de Ferro Fundido Branco Multicomponente**. Dissertação de Doutorado. Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2006.

MARTINS A. F.. **Caracterização do aço inoxidável astm AW743 CA6NM e do seu revestimento**. Acesso em 24 de outubro de 2017. Disponível em <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/127963/000848150.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

MONDENESI, P. J. **Introdução à metalurgia da soldagem**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Janeiro de 2012.

NACIMENTO A. G.. **Avaliação da resistência à fadiga de aços CA6NM submetidos a tratamento criogênico e nitretação iônica**. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, 2011.

PORTAL MATALICA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Soldagem com arame tubular**. Acesso em 24 de outubro de 2017. Disponível em <<http://www.metalica.com.br/soldagem-com-arametubular>>.

RIJEZA. **Peças de turbinas de hidrelétricas, revestimentos contra o desgaste**. Acesso em 17 de junho de 2018. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/rijeza/peas-de-turbinas-de-hidreltricas>>

SOUZA, C. J.; **Desgaste Abrasivo em Compósitos Metal/Cerâmicos: Estudo Aplicado ao Desenvolvimento de Coroas de Perfuração**. Tese de Mestrado. Rede Temática Em Engenharia De Materiais, Ouro Preto, 2011.

TSCHIPTSCHIN, A. P.. **ANÁLISE DE FALHAS III**. Acesso em 17 de junho de 2018.
Disponível em <
[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2792745/mod_resource/content/2/aula%
203.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2792745/mod_resource/content/2/aula%203.pdf)>.