

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
ENGENHARIA MECÂNICA

LUCAS FERREIRA ANDRADE

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

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2018

LUCAS FERREIRA ANDRADE

**ANÁLISE DO REVESTIMENTO DE 410NiMo DEPOSITADO PELO  
PROCESSO DE SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO CONTRA O  
DESGASTE POR DESGASTE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento da Engenharia Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Émillyn Ferreira Trevisani Olivio.

CORNÉLIO PROCÓPIO

2018

# FOLHA DE APROVAÇÃO

Lucas Ferreira Andrade

## ANÁLISE DO REVESTIMENTO DE 410NiMo DEPOSITADO PELO PROCESSO DE SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO CONTRA O DESGASTE POR EROSÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 14:00hs 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. Ma. Émillyn Ferreira Trevisani Olívio (Orientadora)

---

Prof. Dr João Roberto Sartori Moreno (membro)

---

Prof. Dr Celso Alves Correa (membro)

---

Prof. Me. Carlos De Nardi (membro)

“A folha de aprovação assinada se encontra na coordenação do curso”

## RESUMO

ANDRADE, Lucas Ferreira Andrade. **Análise do Revestimento de 410NiMo Utilizando Processo de Eletrodo Revestido**. 2018. X f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

O 410NiMo é utilizado em reparos pelo processo de soldagem em metais que foram desgastados pela cavitação da água, do vapor e da atmosfera marinha. Seu revestimento é aplicado em turbinas hidroelétricas, rotores e carças de bombas, tubo de controle de aquecimento, entre outros. Ou seja, todos equipamentos que estejam sujeitos a condições de funcionamento onde são necessárias boas propriedades mecânicas e de resistência ao desgaste, para que tenha uma maior vida útil. Neste trabalho será estudado o processo de eletrodo revestido e seus parâmetros para fazer estes reparos. O objetivo é analisar a qualidade da solda onde o material de deposição é o ER 410 NiMo, especial para soldagem de aços martensíticos, em uma amostra de aço martensítico macio CA6NM, que tem um grande nicho no mercado de máquinas e peças que são resistentes a corrosão e ao desgaste. Para validar o estudo utilizou-se três métodos de ensaios: Líquido Penetrante, Microdureza Vickers, e o ensaio de desgaste por riscamento.

**Palavras-chave:** Martensítico, Eletrodo Revestido, CA6NM, 410NiMo.

## ABSTRACT

The 410NiMo is used in repairs by the welding process on metals that have been worn by the cavitation of water, steam and the marine atmosphere. Its coating is applied in hydroelectric turbines, rotors and pump housing, tube of control of heating, among others. That is, all equipment that is subject to operating conditions where good mechanical properties and wear resistance are required, so that it has a longer service life. In this work will be studied the coated electrode process and its parameters to make these repairs. The objective is to analyze the quality of the weld where the deposition material is the ER 410 NiMo, special for welding martensitic steels, in a sample of soft martensitic steel CA6NM, which has a great niche in the market of machines and parts that are resistant to corrosion and wear. To validate the study, three test methods were used: Penetrating Liquid, Vickers Microhardness, and scratch wear test.

**Keywords:** Martensitic, Coated Electrode, CA6NM, 410NiMo.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Turbina hidráulica de impulsão .....	8
Figura 2 - Processo de soldagem por eletrodo revestido .....	11
Figura 3 - Usina hidrelétrica Governador Ney Aminthas de Barros Braga .....	12
Figura 4 - Processo de erosão .....	16
Figura 5 - Pás afetadas pelo desgaste por erosão.....	16
Figura 6 - Soldagem do eletrodo revestido 410 NiMo no metal base CA6NM .	17
Figura 7 - Eletrodo revestido 410 NiMo.....	18
Figura 8 - Equipamento de soldagem .....	18
Figura 9 - Durômetro .....	19
Figura 10 - Máquina de ensaio por riscamento .....	21
Figura 11 - Cargas pré-estabelecidas e haste do ensaio de riscamento.....	21
Figura 12 - Penetrante na peça já soldada .....	22
Figura 13 - Revelador.....	22
Figura 14 - Pontos de microdureza no cordão de solda.....	23
Figura 15 - Gráfico das médias das microdurezas (HV 0,3).....	24
Figura 16 - Amostra após o ensaio de riscamento .....	25
Figura 17 - Gráfico da perda de material por riscamento .....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens do eletrodo revestido .....	11
Tabela 2 - composição química do aço de liga ASTM CA6NM .....	13
Tabela 3 - Composição química do depósito de solda 410 NiMo.....	14
Tabela 4 - Propriedades mecânicas típicas do depósito de solda.....	14
Tabela 5 - Resultados do ensaio de riscamento .....	25

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1 Objetivos</b> .....	<b>9</b>
1.1.1 Objetivo Geral .....	9
1.1.2 Objetivo Específico.....	9
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1 Soldagem por Eletrodo Revestido</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2 Aços Inoxidáveis Martensíticos</b> .....	<b>11</b>
2.1.1 Aço CA6NM.....	12
2.1.2 Eletrodo 410 NiMo.....	13
<b>2.3 Desgaste</b> .....	<b>14</b>
2.3.1 Desgaste por Erosão.....	15
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1 Soldagem</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2 Líquido penetrante</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3 Microdureza Vickers</b> .....	<b>19</b>
<b>3.4 Ensaio de abrasão por riscamento</b> .....	<b>20</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>21</b>
<b>4.1 Ensaio líquido penetrante</b> .....	<b>21</b>
<b>4.2 Ensaio de microdureza Vickers</b> .....	<b>23</b>
<b>4.3 Ensaio de riscamento</b> .....	<b>24</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>27</b>



## 1 INTRODUÇÃO

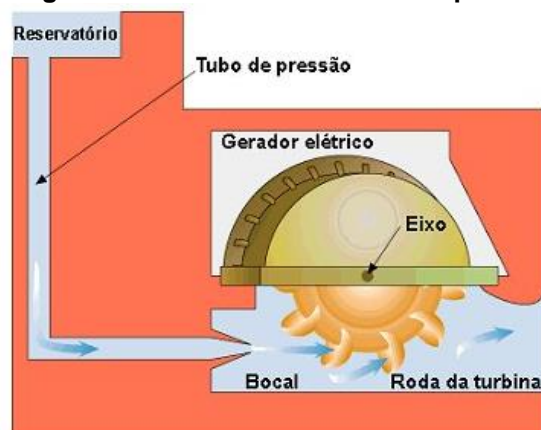
Nos últimos anos o Brasil veio se modernizando cada vez mais devido ao surgimento de novas tecnologias, que por sua vez necessitam de um desenvolvimento energético proporcional ao desenvolvimento de novos equipamentos elétricos.

Para suprir essa demanda, cada vez mais se busca uma maior eficiência e durabilidade nos sistemas de geração energética, portanto, são vitais o estudo de gestão de risco.

Hoje, a principal fonte de energia no Brasil vem das Usinas Hidrelétricas, 60,21% (ANEEL-2018), e essas usinas funcionam a partir de turbinas que giram através da força hidrodinâmica.

Esse trabalho constitui em testes de erosão/desgaste em material similar ao das turbinas hidroelétricas da Copel (fornecedora de energia no Paraná), Figura 1. Essa erosão - processo de desgaste do metal - ocorre quando partículas sólidas ou líquidas entram em contato com as pás da roda da turbina, no qual a o desgaste gradual do sólido por meio de abrasão, como, por exemplo, partículas de areia em alta velocidade em curvas de tubulação. E que através do revestimento por soldagem de 410NiMo as pás de turbinas degradadas sejam recuperados.

**Figura 1 - Turbina hidráulica de impulsão**



Fonte: Copel, 2011

Essas turbinas são produzidas com aços inoxidáveis martensíticos fundidos, o aço CA6MN, que são bem resistentes a erosão, devido ao baixo teor de carbono e a adição de níquel e molibdênio. O CA6MN apresenta um estreitamento entre as linhas *liquidus* e *solidus*, que proporciona uma redução da ocorrência de defeitos de solidificação e uma melhor soldabilidade.

Neste trabalho será analisado o resultado do revestimento 410NiMo no aço inoxidável martensítico CA6NM pelo processo de soldagem por eletrodo revestido, para a recuperação das pás de turbinas hidrelétricas que foram afetadas pelo desgaste abrasivo.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo Geral

Será aplicado pelo processo de soldagem por eletrodo revestido o ER 410NiMo em um metal base CA6NM, a fim de recuperar as pás de turbinas hidrelétricas e avaliar o desempenho da camada revestida quando suscetível a erosão. Será avaliada a influência do metal de solda na zona termicamente afetada (ZTA).

### 1.1.2 Objetivo Específico

Avaliar o cordão de solda por diferentes ensaios e caracterizações, são eles:

- Líquido Penetrante;
- Microdureza Vickers;
- Ensaio de Riscamento.

Ao fazer diferentes testes de avaliações as características e propriedades do corpo de solda, a junção dessas informações trazem uma resposta mais abrangente do nível de proteção do 410 NiMo como revestimento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

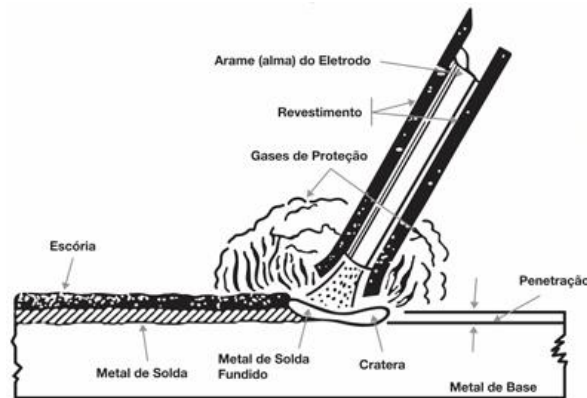
### 2.1 Soldagem por Eletrodo Revestido

Soldagem é o processo de união de materiais usado para obter a coalescência localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição (American Welding Society - AWS).

Mesmo com o aumento do uso de novas técnicas para soldagem, o método de soldagem com eletrodo revestido é o mais amplamente utilizado. É o processo com maior flexibilidade entre todos, em virtude de que quase todos os metais podem ser unidos ou revestidos por esse recurso (ESAB, 2018)

Basicamente são utilizados dois diferentes metais nesse método, o material de adição que é o eletrodo metálico revestido e o metal base, e para que essa união seja estabelecida é necessário o calor de um arco elétrico. O calor do arco elétrico serve para fundir o revestimento, a alma e o metal base. A extremidade do eletrodo se "descola" criando gotas de metal fundido e formam a poça de fusão, neste processo de decomposição, gases provenientes da própria vareta, protegem a solda da atmosfera. A escória líquida paira no sentido da superfície da poça de fusão, em que o metal de solda será protegido da atmosfera durante a solidificação. Esquema ilustrativo do processo de eletrodo revestido, Figura 2 (ESAB, 2018).

**Figura 2 - Processo de soldagem por eletrodo revestido**



Fonte: ESAB, 2018

**Tabela 1 - Vantagens e desvantagens do eletrodo revestido**

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo de baixo investimento;</li> <li>• Não demanda suprimento de gases;</li> <li>• Flexibilidade de aplicação</li> <li>• Variedade de consumíveis;</li> <li>• Equipamentos podem ser utilizados para outros processos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa produtividade;</li> <li>• Cuidados na armazenagem dos eletrodos;</li> <li>• Volume de gases gerado no processo.</li> </ul>

Fonte: ESAB, 2018

## 2.2 Aços Inoxidáveis Martensíticos

São aços comuns baixa-liga que austenizam entre 900-1000°C e tempera ao ar. É formado geralmente por ligas de Fe-Cr-C, com teores de cromo entre 11.5 e 18%, teores de níquel de 0 a 6% e teores de carbono de 0.02 a 1%. A fase de resfriamento é onde ocorre a transformação da austenita para martensita, na qual o carbono se torna frágil e rígido (Newman, 2001).

Seu limite de escoamento vai de 275 MPa (estado recozido) a 1900 MPa (alto carbono, temperado e revenido). A resistência de corrosão desse aço é menor do que a dos aços inoxidáveis austeníticos e ferríticos (alto Cr). São utilizados a temperaturas abaixo de 650°C devido a degradação das propriedades mecânicas e resistência à corrosão (Newman, 2001).

O grande problema é que na soldabilidade ele é o pior entre os inox, devido a formação de martensita não revenida na sua poça de fusão. Além de exigir cuidados especiais quando o C é maior que 0,1% (Krauss, 1999).

No ramo industrial ele é utilizado em componentes que necessitam de uma boa resistência a corrosão e ao desgaste atrelados com a dureza. Suas aplicações típicas são em: pás de turbinas a vapor e hidráulicas, Figura 3, tubulações e válvulas, revestimento de cilindros para lingotamento contínuo, instrumentos cirúrgicos, cutelaria, engrenagens e eixos (Villares Metals, 2008).

**Figura 3 - Usina hidrelétrica Governador Ney Aminthas de Barros Braga**



Fonte: Copel, 2011

### 2.2.1 Aço CA6NM

Os aços inoxidáveis martensítico classificado Segundo a ASTM (American Society for Testing and Materials) como A743 grau CA6NM, tem sido utilizado na construção de turbinas hidráulicas e a gás, indústrias petroquímicas, corpos de válvulas, cones e discos de compressores e uma variedade de elementos estruturais de aviões e motores. Sabe-se que estes aços apresentam bons desempenhos em aplicações onde resistência à corrosão e erosão por cavitação são requeridas (PUKASIEVICZ, 2002).

Esse aço tem boas propriedades de resistência a danos por corrosão e cavitação, combinadas com boas propriedades de soldabilidade e fadiga. Porém, a soldagem deste tipo de aço é complexa e para garantir um mínimo de tensão residual e aumentar a tenacidade após a soldagem é necessário realizar um tratamento térmico pós-soldagem (TTPS) da peça. A baixa dureza diminui a vida útil da peça e acelera o processo de cavitação (ESAB, 2018).

Normalmente utiliza-se a soldagem para reparo de componentes feitos de aço CA6NM. Especificamente, a microestrutura resultante à temperatura ambiente consiste em martensita temperada e pode conter pequenas quantidades de ferrita e austenita retida. A austenita retida melhora as propriedades mecânicas, como a resistência ao impacto, enquanto a presença de ferrita delta pode deteriorar as propriedades de impacto e elevar a temperatura de transição dúctil para frágil (ESAB, 2018).

Segundo a norma ASTM 743, o aço CA6NM é um aço resistente à corrosão com 13% de cromo, ligado ao níquel e molibdênio e contendo no máximo 0,06% de carbono. A Tabela 2 apresenta as faixas permissíveis de composição química para o aço CA6NM de acordo com a norma ASTM 743.

**Tabela 2 - composição química do aço de liga ASTM CA6NM**

Composição (%)							
C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S
≤0,06	≤1,0	≤1,0	11,5-14	3,5-4,5	0,4-1,0	≤0,04	≤0,03

**Fonte: ASTM, 2018**

### 2.2.2 Eletrodo 410 NiMo

A soldagem dos aços especiais utilizados em Equipamentos de Usinas Hidroelétricas como Rodas de Turbina, Francis e Pelton e seus componentes, resistentes à corrosão, cavitação de água doce ou salgada, abrasão e desgaste por fricção (MJV, 2014).

O eletrodo básico ligado na alma para a soldagem de aços inoxidáveis martensíticos, forjados e fundidos tem composição similar resistentes à corrosão em ambientes sulfurados de temperaturas de trabalho até 500°C. Resistente à ação da água, vapor e atmosfera marítima (ESAB, 2016).

Possui grande resistência à formação de carepa em temperaturas até 900°C e endurece até 450 HB (ESAB, 2016).

Apresenta em seu depósito uma estrutura martensítica que garante um coeficiente de dilatação similar ao dos aços baixo carbono e podem ser tratados termicamente (MJV, 2014).

Em paredes espessas, o pré-aquecimento deve ser feito entre passes de 100 a 160 °C e o tratamento térmico pós-soldagem de 580 a 620°C (MJV, 2014).

**Tabela 3 - Composição química do depósito de solda 410 NiMo**

Composição (%)								
C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu
0,04	12,5	4,5	0,5	0,6	0,3	0,03	0,01	0,6

Fonte: ASTM, 2018

**Tabela 4 - Propriedades mecânicas típicas do depósito de solda**

Resistência á tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Dureza (HB)
870	750	±350

Fonte: ASTM, 2018

### 2.3 Desgaste

Desgaste é um dano progressivo a uma superfície causado pelo movimento relativo com outra substância, conforme a classificação proposta por Raymond Bayer (2004).

A perda de material na superfície de metais ou a mudança de geometria de um componente são exemplos de desgastes que ocorrem nos diversos mecanismos da engenharia, como, turbinas, válvulas, engrenagens, etc. Tudo isso devido ao atrito. Esses desgastes influenciam diretamente na eficiência e no funcionamento dos componentes diminuindo a vida útil de uma máquina.

Junto com a fadiga e com a corrosão, o desgaste é um dos três fatores que limitam a vida útil e performance de um componente ou sistema de engenharia. O que torna interessante, economicamente, investir em métodos que aumentem a resistência ao desgaste (Rijeza, 2017).

O desgaste pode ser classificados em três subdivisões (Rijeza, 2017):

- Atrito (metal contra metal);
- Abrasão (metal contra não-metal);
- Erosão (líquidos e vapores contra metal).

Assim, o melhor método para resolver o problema de desgaste de um material/componente, é saber quais são os mecanismos que existem e como eles funcionam (Rijeza, 2017).

### 2.3.1 Desgaste por Erosão

O desgaste por erosão é descrito como a remoção de partículas sólidas de metais da superfície de componentes por meio do atrito de partículas sólidas que se movem através do fluido, no caso, no nosso estudo, esse fluido é a água, Figura 5 (Rijeza, 2017).

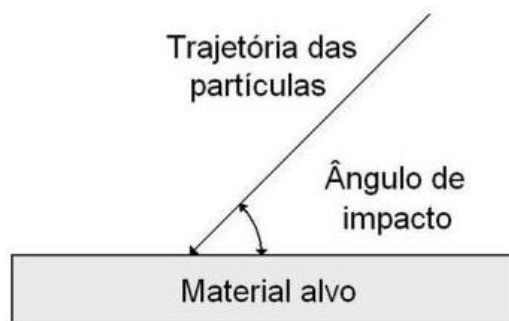
O desgaste pode ocorrer em diferentes temperaturas, tanto baixas como altas, e eles dependem de quatro principais fatores (Rijeza, 2017):

- **Ângulo de Impacto:** O ângulo formado entre a linha de trajetória da partícula (tangencial) e a superfície da peça, Figura 4. Nesse caso os materiais dúcteis possuem um aumento de desgaste até um ângulo de 30°, ângulos maiores que esse diminuem o desgaste. Já em materiais com uma dureza elevada o comportamento é o oposto, ou seja, quanto maior o ângulo de impacto mais resistente ele se torna. Por isso é importante revestir metais dúcteis - como os de uma turbina, que está sujeita a erosão – com metais duros.
- **Velocidade de impacto:** Quanto maior for a velocidade de impacto maior será o desgaste por erosão, logo, menor a durabilidade da peça.



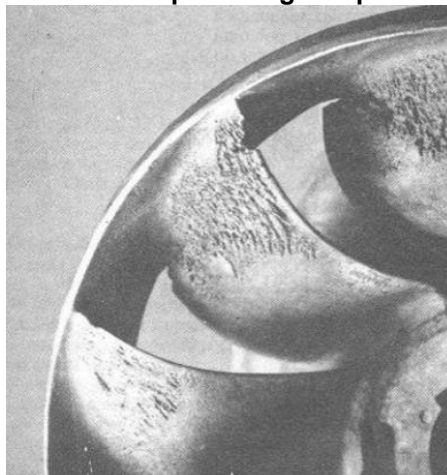
- **Forma:** A geometria das partículas influenciam diretamente no desgaste, partículas podem ser arredondadas ou pontiagudas, o segundo tipo é o que causa maior dano.
- **Dureza das partículas:** sabe-se que quando um material mais duro em contato com um material mais dúctil não sofrerá tanto impacto em relação a sua deformação plástica. Quanto mais dura for a partícula, mais atenuante será o efeito do desgaste.

**Figura 4 - Processo de erosão**



Fonte: Andrei Locatelli, 2009

**Figura 5 - Pás afetadas pelo desgaste por erosão**



Fonte: Macintyre, 1983

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar o experimento, primeiramente foi feita a limpeza do material de base e depois a soldagem do mesmo, onde foi depositado somente um cordão de solda. Após esse processo, foi realizada uma análise para inspecionar porosidade superficial da solda usando o método de Líquido Penetrante. Logo após esse processo, a peça foi para o Ensaio de Dureza Vickers, onde calculou seu nível de dureza (HV). Por último, foi feito o ensaio de desgaste por riscamento.

#### 3.1 Soldagem

Para o processo de soldagem o material de metal base CA6NM, foi pré-aquecido a 150°C e deixado resfriar até 80°C para começar a soldagem por eletrodo revestido. O material de adição utilizado foi o eletrodo revestido AWS E40NiMo-15 de 2,5 mm de diâmetro. A Figura 6 apresenta o corpo de prova soldado através do processo de eletrodo revestido, e a soldagem feita manualmente no laboratório de soldagem da UTFPR. Foram utilizados oito eletrodos de solda 410NiMo, Figura 7.

**Figura 6 - Soldagem do eletrodo revestido 410 NiMo no metal base CA6NM**



**Fonte: Autor, 2018**

**Figura 7 - Eletrodo revestido 410 NiMo**



**Fonte: Autor, 2018**

A bancada para soldagem possui uma máquina de soldagem por eletrodo revestido Bambozzi Piccola 400T, Figura 8. O equipamento tem uma tensão que varia entre 220 e 440V. A corrente varia entre 40 a 80A.

**Figura 8 - Equipamento de soldagem**



**Fonte: Autor, 2018**

### 3.2 Líquido penetrante

O ensaio por líquido penetrante é um método não destrutivo de teste de amostra de materiais sólidos, onde detecta-se se existe descontinuidade superficiais tais como: trincas, poros, dobras, etc (Faend, 2011).

Para a realização do ensaio foi seguido a norma ABNT NBR 16450:2016.

### 3.3 Microdureza Vickers

Este ensaio consiste em aplicar uma força de uma carga já estabelecida, por meio de um penetrador de diamante com formato de pirâmide de pequena dimensões, sobre a superfície de solda. O ensaio é feito por um equipamento chamado Durômetro, Figura 9. Foi utilizado os parâmetros da Norma ASTM E 92.

**Figura 9 - Durômetro**



Fonte: Autor, 2018

Para calcular a dureza do material é utilizado uma fórmula que correlaciona a carga que foi aplicada (kgf) com a área da impressão obtida ( $\text{mm}^2$ ).

$$HV = \frac{2F \text{ sen } (136^\circ/2)}{d^2} \cong 1,854 \frac{F}{d^2}$$

- F = carga em kgf
- d = a medida das diagonais d1 e d2 em mm.
- HV = dureza Vickers

### 3.4 Ensaio de abrasão por riscamento

Para o ensaio de riscamento foi utilizado a máquina de riscamento do laboratório de Aspersão Térmica e Soldagens Especiais (LABATS) da UFPR, Figura 10, em que foi feito os experimento de riscamento por meio de uma lâmina que ao passar pela superfície do material faz um risco tirando o material de solda. Quanto menor a quantidade de material que retirar da peça, mais duro é o metal de solda.

O ensaio foi feito da seguinte forma: primeiramente foi lavada a peça com acetona da lavadora ultrassônica. Após a lavagem a peça foi pesada em uma balança de precisão 0,0001g de precisão.

Para começar o ensaio, a peça foi posicionada no equipamento e foram feitos os testes de riscamento com 1kg, 5kg e 6 kg, mais o peso da haste, com 1,446,46g, que sustenta as cargas, Figura 11. Após cada riscamento a peça foi lavada da mesma forma que anteriormente e pesada. Assim pode-se avaliar a quantidade de material perdida com a mudança de peso.

**Figura 10 - Máquina de ensaio por riscamento**



Fonte: Autor, 2018

**Figura 11 - Cargas pré-estabelecidas e haste do ensaio de riscamento**



Fonte: Autor, 2018

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Ensaio líquido penetrante**

Após a soldagem e resfriamento da peça à temperatura ambiente, a mesma foi levada para o laboratório de engenharia mecânica da UTFPR-CP para fazer o ensaio de líquido penetrante.

Foi aplicado um penetrante de coloração avermelhada, Figura 12, e após a remoção do excesso e secagem do metal foi aplicado o revelador, Figura 13.

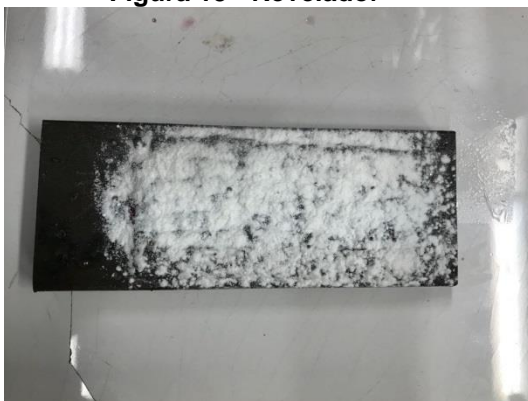
Foram feitos os 5 passos, respeitando a ordem e o tempo de cada um, e por ultimo analisado se tinham descontinuidades na peça. Por avaliação visual não foi encontrado nenhuma trinca ou bolha, logo, a peça estava apta para os próximos ensaios.

**Figura 12 - Penetrante na peça já soldada**



Fonte: Autor, 2018

**Figura 13 - Revelador**



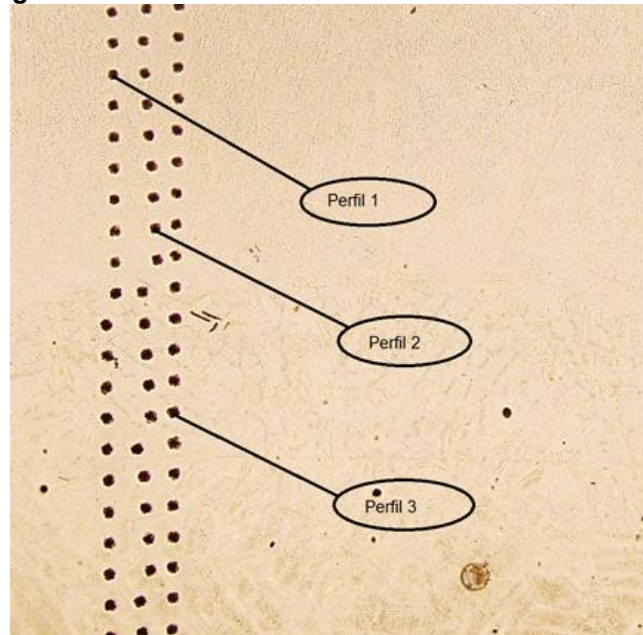
Fonte: Autor, 2018

## 4.2 Ensaio de microdureza Vickers

O Ensaio de Microdureza Vickers foi realizado no laboratório de engenharia mecânica da UTFPR campus Cornélio Procópio. Foram feitos 100 pontos na vertical e 3 passes na horizontal (3x100), com uma distância média de 0,13 mm, e aplicação de 300 gF por 15 segundos. Ao total foram aplicadas 300 marcas na peça.

A Figura 15 mostra como foi feito o ensaio, ela foi retirada de um microscópio ótico com uma aproximação de 5 vezes da imagem dos pontos.

Figura 14 - Pontos de microdureza no cordão de solda

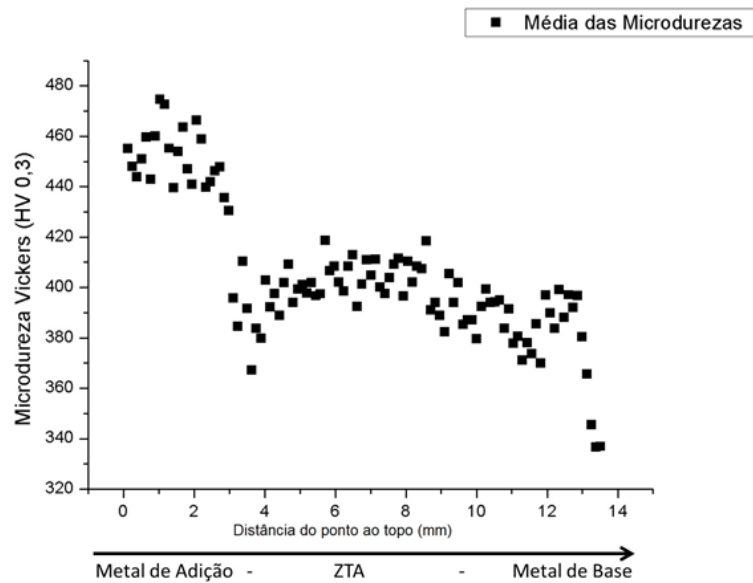


Fonte: Marcus Soares, 2017

Os valores das durezas obtidos são mostrados na Figura 16 a partir de um gráfico, reproduzido pelo software Origin, em que foi informado os valores de microdureza em função da distância do topo da amostra. Pode-se notar os valores do cordão de solda, ZTA e metal de base.



**Figura 15 - Gráfico das médias das microdurezas (HV 0,3)**



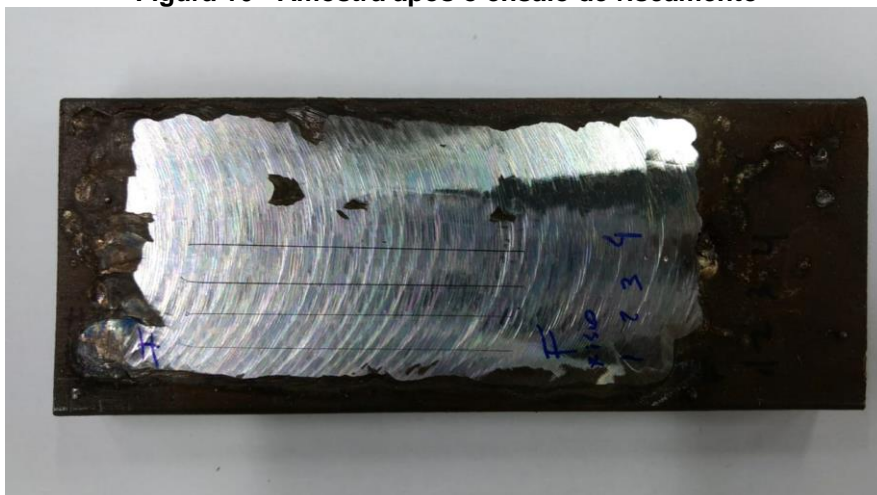
**Fonte: Marcus Soares, 2017**

A partir do gráfico da Figura 16, pode-se observar a diferença de dureza nos três perfis informados. O metal de adição teve uma média de dureza de aproximadamente 460 HV. O ZTA teve uma média de 400 HV. Por fim, o metal de base teve uma média de aproximadamente 380 HV, o que é característico do CA6NM. Os valores de microdureza estão próximos com a literatura de Behene (2014) e Olivio (2016), onde no material de adição a dureza tem uma média de 420 HV, a ZTA tem um valor de 380 HV e o metal de base possui um valor de 370 HV.

### 4.3 Ensaio de riscamento

O ensaio de riscamento foi realizado no laboratório da UFPR de Curitiba. Foram realizados quatro riscos, Figura 16, o primeiro somente com a haste e o restante com cargas.

**Figura 16 - Amostra após o ensaio de riscamento**



Fonte: Autor, 2018

Após cada risco a amostra foi pesada e os dados anotados, para que fosse analisado a perda de carga. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.

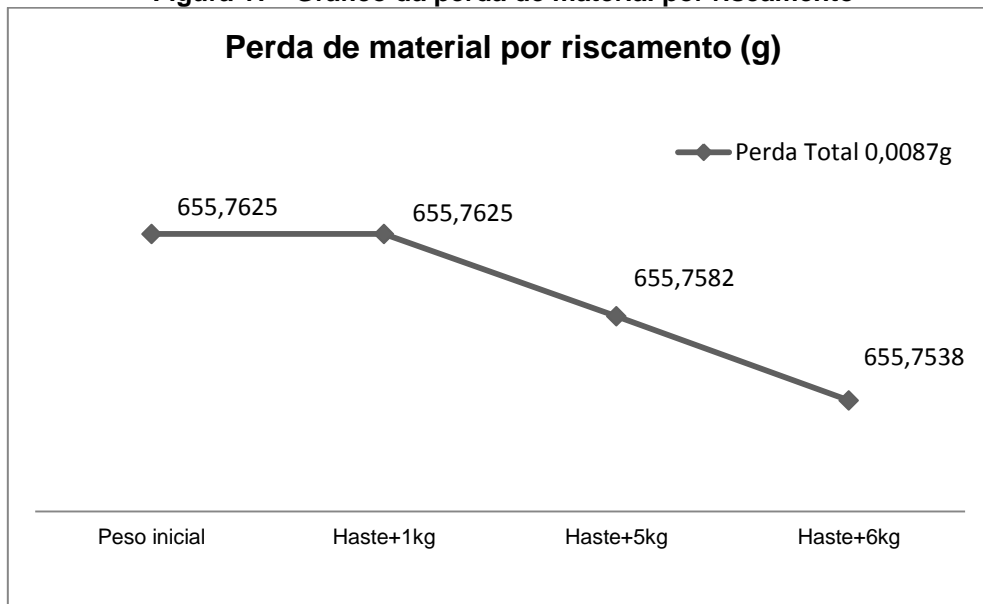
**Tabela 5 - Resultados do ensaio de riscamento**

<b>Ensaio de riscamento</b>	
Condição	Peso (gramas)
Peso inicial da amostra	655,7625
Carga: Haste (1448,46g)	655,7625
Carga: Haste + 1007,38g	655,7625
Carga: Haste + 5034,08	655,7582
Carga: Haste + 6039,33	655,7538
<b>Perda Total</b>	<b>0,0087</b>

Fonte: Autor, 2018

A Figura 17 mostra o gráfico de perda de carga, que foi de 0,0087g, o que é uma perda muito pequena. Provando que o material do revestimento é bem resistente ao desgaste abrasivo.

**Figura 17 - Gráfico da perda de material por riscamento**



Fonte: Autor, 2018

## 5 CONCLUSÃO

Com o ensaio de líquido penetrante foi analisado que o depósito de eletrodo revestido 410 NiMo tem uma boa soldabilidade com o metal de base CA6NM, pois não foi encontrado nenhuma trinca, bolha ou descontinuidade na superfície.

Ao ser realizado o ensaio de microdureza Vickers obteve resultados das durezas dos três perfis da peça: cordão de solda, ZTA e metal de base. Com os dados coletados, constata-se que a microdureza do revestimento e o metal de base são semelhantes e comparáveis com o da literatura. A dureza média obtida no revestimento de 410NiMo foi de 460 HV. O ZTA teve uma média de 400 HV. Por fim, o metal de base teve uma média de aproximadamente 380 HV.

Por fim, com o ensaio de riscamento, foi provado que o 410 NiMo é um excelente metal de revestimento contra o desgaste abrasivo, devido a pouca perda de massa do material no teste.

## REFERÊNCIAS

ASTM, ASTM 743/A 743M – 98ae1: **Standard specification for castings, iron-chromium, iron-chromium-nickel, corrosion resistant, for general application.** American Society for Testing and Materials, 1998.

BEHENE, LUCAS. **Estudo da Alteração de Parâmetros de Soldagem Plasma com Alimentação de Vareta em Substrato de Aço ASTM 742 Tipo CA6NM.** 2014. 109 F. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Do Paraná. Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Mecânica, Curitiba, 2014.

DI CUNTO, Julio Cesar. **Estudo da Resistência à Corrosão de Aços Inoxidáveis Para Uso na Parte Fria dos Sistemas de Exaustão de Veículos.** 2005. 105 F. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GRACIOSO, J. F.; **Efeito das condições de têmpera na microestrutura e propriedades mecânicas de um aço inoxidável martensítico fundido CA6NM.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

OLIVEIRA, Raphael. **Produção e Reciclagem de Aços Inoxidáveis.** 2009, 59 F. Tese (Graduação em Engenharia Metalúrgica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

OLIVIO E. F. T; **Análise do Revestimento de 410NIMO Depositado por Aspersão Térmica no Aço Inoxidável Martensítico CA6NM Contra a Erosão por Cavitação.** Tese de Doutorado, UFPR, Curitiba, 2016

PUKASIEWICZ, A. G. M.; **Desenvolvimento de revestimentos Fe-Mn-Cr-Si-Ni resistentes à cavitação depositadas por aspensão ASP.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SOARES, M. F. P; **Caracterização do Revestimento de 410 NiMo Utilizando Processo de Eletrodo Revestido.** Trabalho de conclusão de curso. UTFPR, Cornélio Procópio. 2017.

TERRES, C. J. F.; **Avaliação De Revestimentos de Aços Inoxidáveis Depositados por Aspensão Térmica.** Curitiba. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2006.

VAZ, C. T. **Avaliação da Resistência à Erosão por Cavitação do Metal de Soldas Produzidas com Consumíveis Tipo 13%Cr - 4%Ni - 0,4%Mo.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2004.