

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA MECÂNICA

RICARDO LOURENÇO JUNIOR

**ANÁLISE DO REVESTIMENTO DE 410NIMO DEPOSITADO PELO
PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA A CHAMA ARAME CONTRA O
DESGASTE POR RISCAMENTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2018

RICARDO LOURENÇO JUNIOR

**ANÁLISE DO REVESTIMENTO DE 410NIMO DEPOSITADO PELO
PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA A CHAMA ARAME CONTRA O
DESGASTE POR RISCAMENTO**

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^a M^a Émillyn Ferreira Trevisani Olivio.

CORNÉLIO PROCÓPIO

2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

RICARDO LOURENÇO JUNIOR

ANÁLISE DO REVESTIMENTO DE 410NIMO DEPOSITADO PELO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA A CHAMA ARAME CONTRA O DESGASTE POR RISCAMENTO

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 09:00hs do dia 04/12/2018, 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

JUNIOR, Ricardo Lourenço. **ANÁLISE DO REVESTIMENTO DE 410NiMo UTILIZANDO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA A CHAMA ARAME CONTRA O DESGASTE POR RISCAMENTO.** 2018. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

O Aço inoxidável martensítico CA6NM é caracterizado por ter baixa resistência a corrosão, alta elasticidade e alta resistência mecânica. Pelos pontos positivos desse aço, ele é utilizado em muitas máquinas e seus componentes, na maioria das vezes usado em ambiente marinho pelo motivo de dar menos manutenção, comparado aos outros tipos de aços. Para melhorar as propriedades do aço estudado foi depositado um revestimento 410NiMo pelo processo de aspersão térmica a chama arame, para proteger aço base até a corrosão e o desgaste, aumentando sua vida útil. Foram feitas análises via microscópio óptico, MEV +EDS e DRX e de microdureza e desgaste por riscamento para validação desse revestimento como forma de recuperação de peças, componentes e equipamentos. Os resultados mostraram que o depósito apresentou uma resistência ao desgaste por riscamento 80% superior ao do metal de base e dureza de 337,9 HV0,3 contra 312 HV0,3 do metal de base.

Palavras-chave: Aço Inoxidável Martensítico, Revestimento, Aspersão Térmica, Chama Arame, CA6NM, 410NiMo

ABSTRACT

JUNIOR, Ricardo Lourenço. **ANALYSIS OF 410NiMo COATING USING THERMAL SPRAYING PROCESS THE FLAME WIRE AGAINST WEAR FROM RISK. 2018.** 42 f. Course Completion Work (Undergraduate) - Mechanical Engineering. Federal Technological University of Paraná. Cornélio Procopio, 2018.

The Martensitic stainless steel CA6NM is characterized by having low corrosion resistance, high elasticity and high mechanical strength. For the strengths of this steel, it is used in many machines and their components, most often used in marine environment for the reason of giving less maintenance, compared to other types of steel. To improve the properties of the studied steel, a 410NiMo coating was deposited by the thermal sprinker to wire flame, to protect base steel until corrosion and wear, increasing its useful life. SEM, SEM and EDS and microhardness and scratch wear were used to validate this coating as a way of recovering parts, components and equipment. The results showed that the deposit had a wear resistance by scratching 80% higher than the base metal and hardness of 337.9 HV0.3 versus 312 HV0.3 of the base metal

.

Keywords: Stainless Steel Martensitic, Coating, Thermal Sprinker, Wire Flame, CA6NM, 410NiMo.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESQUEMA DE APLICAÇÃO DO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA.	14
FIGURA 2 - RESULTADO DA APLICAÇÃO É UM REVESTIMENTO DE ESTRUTURA LAMELAR.	15
FIGURA 3 - CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE ASPERSÃO TÉRMICA.	15
FIGURA 4 - PROCESSOS QUE UTILIZAM A COMBUSTÃO.	16
FIGURA 5 – PROCESSOS QUE UTILIZAM ENERGIA ELÉTRICA.	17
FIGURA 6 – ESQUEMA DA ASPERSÃO TÉRMICA A CHAMA ARAME.	18
FIGURA 7 - ESQUEMA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA TOCHA DE ASPERSÃO.	18
FIGURA 8 – PISTOLA PRÓPRIA PARA ASPERSÃO TÉRMICA A CHAMA ARAME.	19
FIGURA 9 - GRÁFICO DE AÇOS-CROMO EXPOSTOS DURANTE 10 ANOS A UMA ATMOSFERA INDUSTRIAL.	21
FIGURA 10 - DIFERENÇA ENTRE DESGASTE POR ABRASÃO DE 2 CORPOS E 3 CORPOS.	25
FIGURA 11 – CABINE DE JATEAMENTO (LABATS).	27
FIGURA 12 – CORPO DE PROVA JÁ REVESTIDO POR ASPERSÃO TÉRMICA.	28
FIGURA 13 – EQUIPAMENTO DE ASPERSÃO TÉRMICA A CHAMA ARAME (LABATS).	29
FIGURA 14 – MICRODURÔMETRO PANATEC ATMI HV-1000B.	31
FIGURA 15 – MÁQUINA DE ENSAIO DE DESGASTE ABRASIVO POR RISCAMENTO	32
FIGURA 16 – HASTE E PESOS UTILIZADOS NO ENSAIO DE RISCAMENTO.	32
FIGURA 17 – MICROSCOPIA ÓTICA DA AMOSTRA COM AUMENTO DE 20X.	34
FIGURA 18 - DESENHO ESQUEMÁTICO DO ENSAIO DE MICRODUREZA VICKERS.	35

FIGURA 19 - MICRODUREZA DA SEÇÃO VERTICAL DA AMOSTRA ASPERGIDA.....	36
FIGURA 20 - RESULTADO DO ENSAIO DE DESGASTE POR RISCAMENTO	37

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - VANTAGENS RELACIONADAS AOS PROCESSOS DE ASPERSÃO TÉRMICA.....	19
TABELA 2 – DESVANTAGENS RELACIONADAS AOS PROCESSOS DE ASPERSÃO TÉRMICA.....	20
TABELA 3 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO DEPÓSITO DE SOLDA 410 NIMO.	23
TABELA 4 - PROPRIEDADES MECÂNICAS TÍPICAS DO DEPÓSITO DE SOLDA.....	23
TABELA 5 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO INOXIDÁVEL MARTENSÍTICO CA6NM.....	26
TABELA 6 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO METAL DE DEPOSIÇÃO DE ALTA LIGA 410NIMO.....	27
TABELA 7 – PARÂMETROS EMPREGADOS NO JATEAMENTO ABRASIVO DAS AMOSTRAS.....	28
TABELA 8 – DIMENSÕES DO CORPO DE PROVA REVESTIDO.....	29
TABELA 9 – PARÂMETROS DE DEPOSIÇÃO NO PROCESSO CHAMA ARAME.....	30
TABELA 10 – MÉDIA DAS MEDIÇÕES DE RUGOSIDADE DO SUBSTRATO.	33
TABELA 11 – MÉDIA DAS MICRODUREZAS NA SEÇÃO VERTICAL DAS AMOSTRAS ASPERGIDAS.....	36
TABELA 12 - RESULTADOS DO ENSAIO DE DESGASTE POR RISCAMENTO.....	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	12
1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 ASPERSÃO TÉRMICA	13
2.1.1 ASPERSÃO A CHAMA ARAME.....	17
2.2 AÇO INOXIDÁVEL	20
2.2.1 AÇO INOXIDAVEL MARTENSÍTICO CA6NM.....	22
2.2.2 ELETRODO 410 NIMO	23
2.3 DESGASTE	23
2.3.1 DESGASTE POR RISCAMENTO	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 MATERIAIS	26
3.1.1 METAL DE BASE	26
3.1.2 METAL DE ADIÇÃO.....	26
3.2 EQUIPAMENTOS E METODOS	27
3.2.1 JATEAMENTO	27
3.2.2 DEPOSIÇÃO DO MATERIAL.....	28
3.2.3 EQUIPAMENTOS DE ASPERSÃO TÉRMICA A CHAMA ARAME	29
3.2.4 MICROSCOPIA OPTICO	30
3.2.5 MICRODUREZA VICKERS	30
3.2.6 ENSAIO DE RISCAMENTO	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 MEDIÇÃO DA RUGOSIDADE DO SUBSTRATO	33

4.2 ANÁLISE VIA MICROSCOPIA ÓTICA DO REVESTIMENTO	34
4.3 ANÁLISE DE MICRODUREZA VICKERS DO REVESTIMENTO	35
4.4 ENSAIO DE DESGASTE ABRASIVO POR RISCAMENTO	37
5 CONCLUSÃO	39
REFERENCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

O desgaste ocorre em peças de máquinas quando em movimento, como em eixos, pistões, válvulas, engrenagens, etc. ou em peças de britadores, escavadoras, misturadores, maquinário agrícola, de construção, enfim, numa infinidade de aplicações da engenharia e da indústria. O efeito mais importante desse fenômeno é a modificação das dimensões das peças em serviço, desde a sua redução em tamanho a tal ponto que elas perdem sua eficiência ou que rompem mediante a aplicação de uma pequena sobrecarga, até a alteração da ajustagem entre as peças móveis e fixas de modo a criar tensões inesperadas na parte móvel, contribuindo, para provocar a sua ruptura por fadiga ou por outro esforço dinâmico. (BOLETIM GEOLOGIA E METALURGIA XVII, 2011)

Um exemplo fácil de ser visto de uma ação do desgaste do aço é em lugares que são feitos com estruturas metálicas e são expostas a chuva, ao sol, a umidade, com o tempo a película protetora se rompe e causa o desgaste do material comprometendo sua vida útil. Por consequência, pesquisadores estudaram e comprovaram que para o aço durar mais era necessário um tratamento de superfície para prolongar a durabilidade, sendo assim para cada aplicação do aço, possui um tipo de tratamento e uma forma correta de aplicar esse respectivo revestimento.

A técnica de aplicação de revestimentos por aspersão térmica por chama, como é conhecida, é caracterizada por uma chama oxicomustível de alta velocidade, apresenta o melhor custo benefício entre as técnicas de aspersão térmica e possui inúmeros revestimentos possíveis de serem aspergidos. Seu objetivo é proteger o aço base da corrosão e do desgaste, para aumentar sua vida útil. Nesse caso será utilizado o revestimento 410MiNo, utilizando processo de aspersão térmica a chama arame contra o desgaste por riscamento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Observar o comportamento do revestimento de 410MiNo depositado no metal base CA6NM, pelo processo de aspersion térmica a chama arame, buscando recuperar a superfície ante ao desgaste por riscamento.

1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Revestir um aço martensítico inoxidável CA6NM pelo processo de aspersion térmica a chama arame e submeter os corpos de provas aos ensaios de microscopia ótica, microdureza vicker e desgaste por riscamento, para definir a eficiencia do revestimento superficial em seu desgaste.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

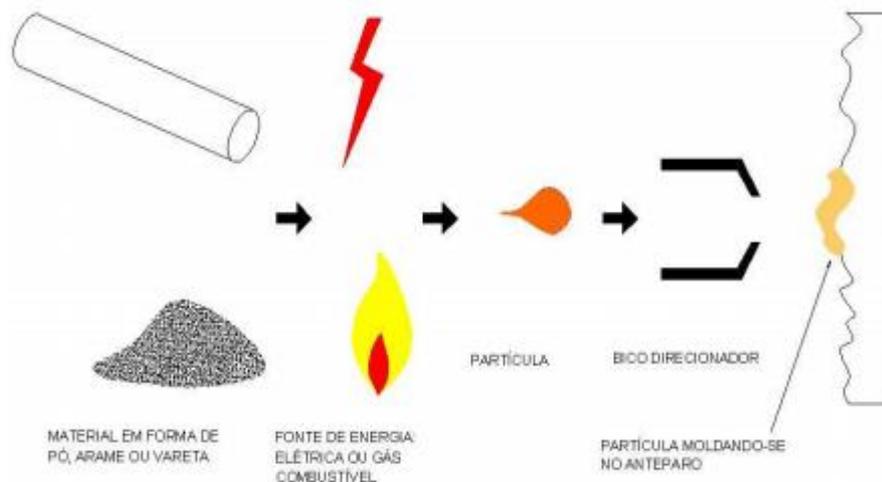
2.1 ASPERSÃO TÉRMICA

O desenvolvimento da tecnologia de aspersão térmica baseia-se na necessidade de se aumentar a vida útil de sistemas e peças, em face o elevado custo de componentes de reposição aliado as vantagens de se recuperar peças as quais se elimina a substituição. E com isto deseja se elevar o desempenho dos sistemas mecânicos em uso. Os quais são cada vez mais solicitados e dentre seus parâmetros de trabalho mais importantes podemos citar a pressão e a temperatura. E para resistir a acréscimos nas solicitações térmicas e mecânicas é exigido da ciência dos materiais o desenvolvimento de ligas específicas para resistir às mais diversas condições de serviço. (PAREDES, 2009)

É o processo de metalização de peças, ou seja, a aplicação de revestimentos metálicos. Com a aspersão térmica é possível criar uma camada de revestimento que proporciona aumento e durabilidade de peças que operam em ambientes sujeitos a desgastes por abrasão, corrosão, erosão e cavitação (RIJEZA, 2018)

Para a realização do processo necessita de alguns elementos imprescindíveis (Figura 1): revestimento; fonte de energia; bico direcionador; formação da partícula; superfície para contato (RIJEZA, 2018).

FIGURA 1 - ESQUEMA DE APLICAÇÃO DO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA.



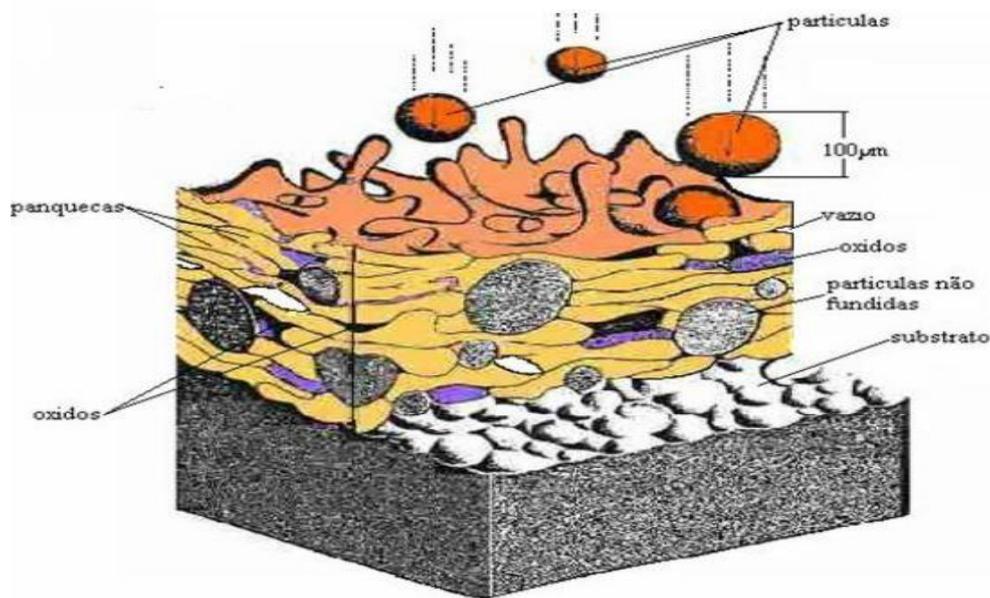
FONTE: PAREDES (2009).

O processo pode ser usado tanto na **prevenção de desgastes** (o revestimento é aplicado em peças novas, aumentando sua durabilidade de peças em mais de 500%), quando na **recuperação dimensional** (em peças já usadas e que já sofreram a ação de algum mecanismo de desgaste) (RIJEZA,2018)

A aspersão térmica é um processo muito importante para a indústria, pois substitui outros processos tradicionalmente hastes hidráulicas, anéis de vedação, rolos de processo de zincagem, entre outros; Agricultura, para revestimento de parafusos e facas de corte; Petróleo, para revestir válvulas de esfera, válvulas de gaveta, luvas protetoras de eixos de bomba, rotores de bomba e mancais de deslizamento. hidrogeração, para revestir pás de turbina Kaplan, pás Pelton, mancais, palhetas diretrizes, agulhas e tampas. os principais materiais utilizados são, alumínio, zinco, aço carbono, aço inox, latão, cobre, níquel, níquel cromo inconel 625, stellite, carbonetos de cromo, carbonetos de tungstênio, óxido de cromo, óxido de alumínio, yttria zircônia, metal patente. (RIJEZA, 2018)

Observa-se na Figura 2, o revestimento criado pela aspersão térmica depositado no substrato.

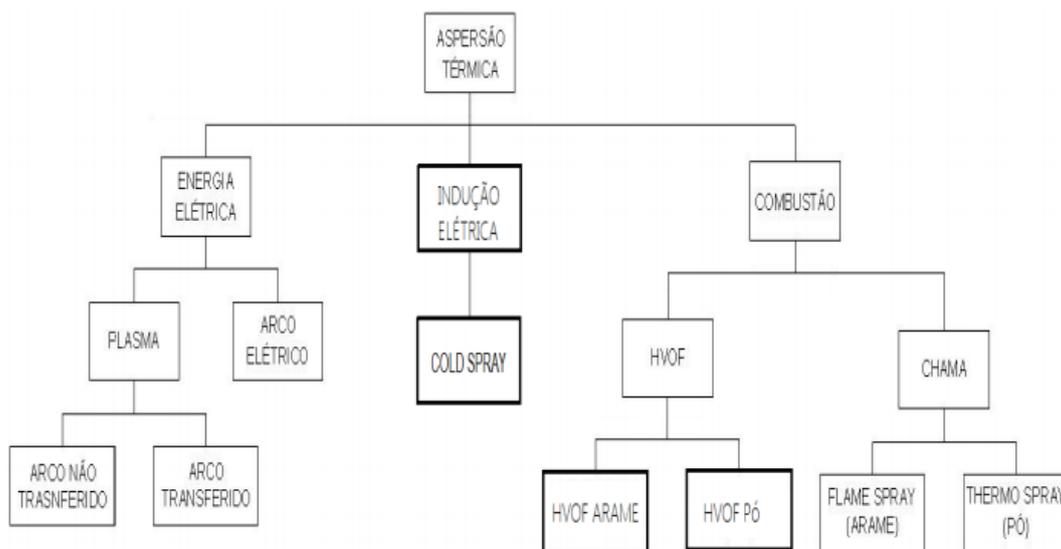
FIGURA 2 - RESULTADO DA APLICAÇÃO É UM REVESTIMENTO DE ESTRUTURA LAMELAR.



FONTE: RIJEZA (2018).

A classificação dos processos de aspersão térmica distingue-se em dois grupos um que usa a chama e outro que utiliza a energia elétrica como fonte de energia. Conforme mostrado na Figura 3 (PAREDES,2009)

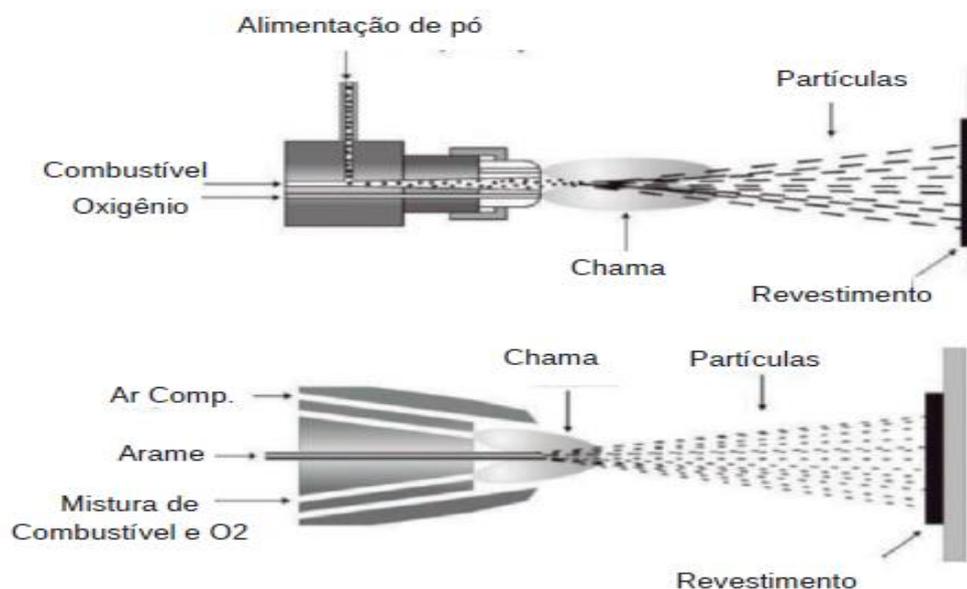
FIGURA 3 - CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE ASPERSÃO TÉRMICA.



FONTE: PAREDES (2013).

Nos processos a combustão, o material (na forma de pó ou arame) é projetado através de uma chama gasosa. Os combustíveis podem ser o acetileno, propano, querosene ou o hidrogênio. A diferença entre os processos dessa classe está na temperatura da chama formada e na velocidade de projeção da partícula que pode chegar a mais de 1000 m/s. Fazem parte dessa classe o Flame Spray, HVOF, HVOF, Cold Spray e o Dgun. Destaca-se aqui o HVOF, que produz revestimentos com porosidades inferiores a 1% (RIJEZA,2008). Exemplificado na Figura 4.

FIGURA 4 - PROCESSOS QUE UTILIZAM A COMBUSTÃO.



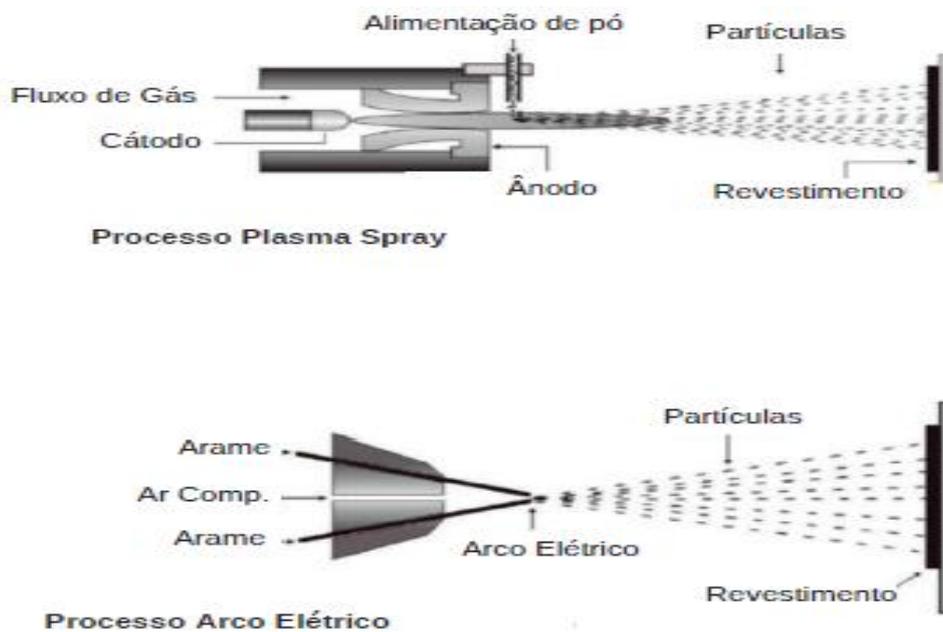
FONTE: RIJEZA (2008).

No processo a eletricidade existem dois tipos de equipamentos:

1 - Plasma Spray: O plasma refere-se ao quarto estado da matéria. Nesse processo, a combinação de um arco elétrico e um gás inerte criam uma chama ionizada de alta temperatura de 8000 a 15000 graus. Muito utilizado para aplicação de materiais cerâmicos.

2 - Arco Elétrico: Nesse processo a fusão do material (em arame) é realizada através do arco elétrico formado na união dos dois arames. O ar comprimido é utilizado para atomizar e projetar as partículas contra o substrato. Processo muito utilizado para aplicação de materiais como aço inox, zinco, alumínio, ligas base ferro, níquel, entre outras (PAREDES,2016). Conforme mostra a Figura 5.

FIGURA 5 – PROCESSOS QUE UTILIZAM ENERGIA ELÉTRICA.



FONTE: RIJEZA (2018).

2.1.1 ASPERSÃO A CHAMA ARAME:

O processo de aspersão térmica chama arame envolve a combustão contínua do gás combustível num bocal refrigerado por ar. Os produtos da combustão dos gases $C_2H_2 + O_2$, Figura 6, são liberados através do bocal e acelerados pelo fluxo de ar comprimido seco. O arame é alimentado de forma axial ao centro da chama e continuamente fundido pela ponta onde as partículas são aceleradas pelo fluxo de ar. (PAREDES,2016)

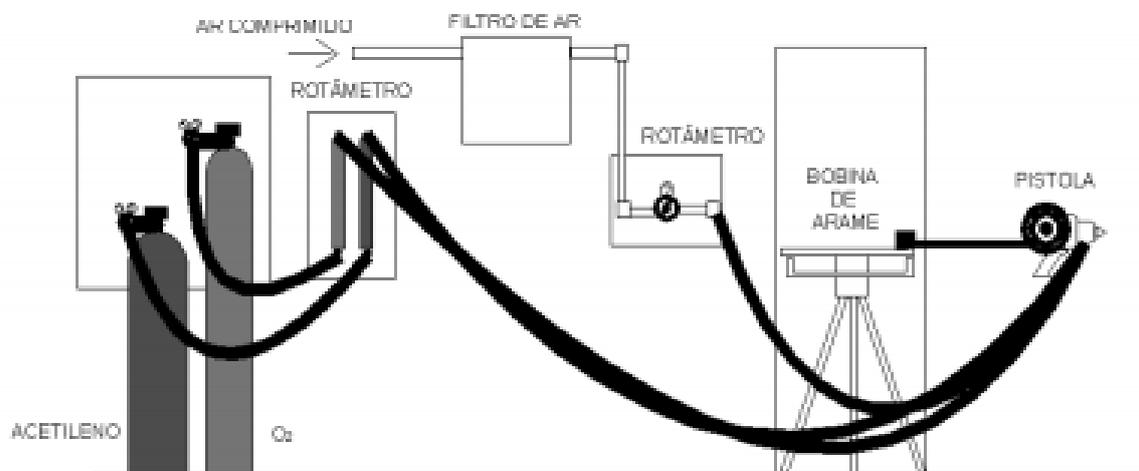
Para aplicação com o material na forma de vareta ou arame o equipamento deve possuir um sistema de alimentação que pode ser através de roletes que são tracionados por motor elétrico, motor pneumático ou por uma turbina de ar. E o material é alimentado até a tocha que para utilização de arame tem a seguinte configuração, conforme a Figura 7 (PAREDES,2016).

O arame alimentado, de forma contínua e concêntrica, é fundido no bocal por uma chama de gás combustível que só tem esta finalidade. E para aspergir o material é utilizado ar comprimido e devido à configuração do bocal, o fluxo de ar lançado sobre as partículas fundidas faz com que haja a pulverização com maior velocidade (energia cinética) até o substrato. Esta

energia é aumentada pelo ar comprimido de duas maneiras: distribuição de gases combustíveis ao redor do arame para uma fusão uniforme e assegurar o tempo suficiente de permanência do arame na chama para uma fusão eficiente, mesmo utilizando-se velocidades do ar comprimido elevadas (PAREDES,2009).

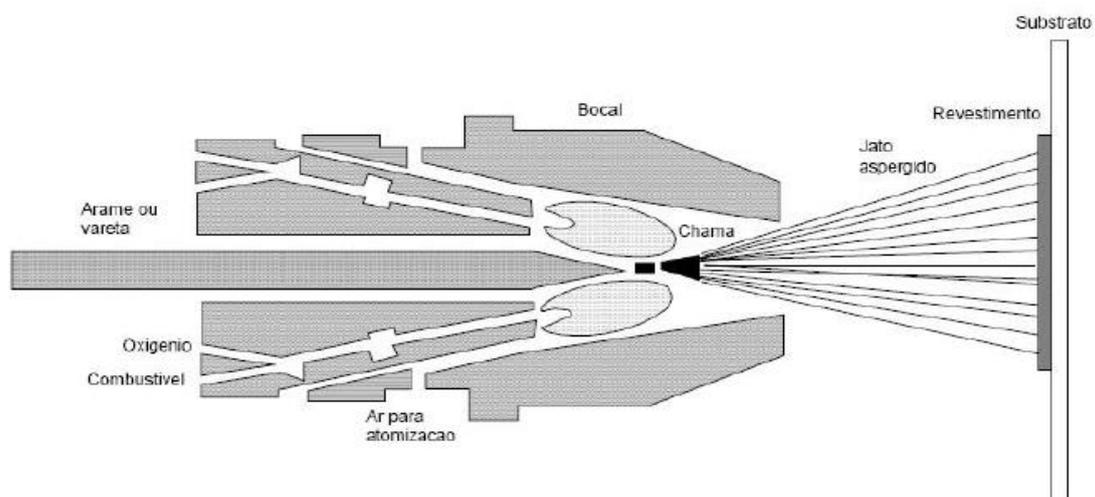
Segue o exemplo de um tipo de pistola utilizada para essa aplicação na Figura 6.

FIGURA 6 – ESQUEMA DA ASPERSÃO TÉRMICA A CHAMA ARAME.



FONTE: PAREDES (2013).

FIGURA 6 - ESQUEMA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA TOCHA DE ASPERSÃO.



FONTE: PAREDES (2009).

FIGURA 7 – PISTOLA PRÓPRIA PARA ASPERSÃO TÉRMICA A CHAMA ARAME.



FONTE: CIMM (2010).

As Tabelas 1 e 2, mostram as vantagens e desvantagens da aspersão térmica a chama arame:

TABELA 1 - VANTAGENS RELACIONADAS AOS PROCESSOS DE ASPERSÃO TÉRMICA.

Chama Oxiacetilênica	<p>Permite a aplicação de 3 tipos de camadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ligas para camadas fundidas, resistentes a corrosão e oxidação - Ligas com carbeto, recomendados onde as condições de abrasão são severas - Ligas com cerâmicas, resistentes ao desgaste, calor e abrasão e também funcionam como isolantes térmicos e elétricos
----------------------	--

FONTE: GIMENEZ et al (2013).

TABELA 2 – DESVANTAGENS RELACIONADAS AOS PROCESSOS DE ASPERSÃO
TÉRMICA.

<p>Chama</p> <p>Oxiacetilênica</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Oxidação das partículas quando transportadas pelo ar comprimido - Aderência prejudicada - Necessário o uso de gás inerte para transporte das partículas
------------------------------------	---

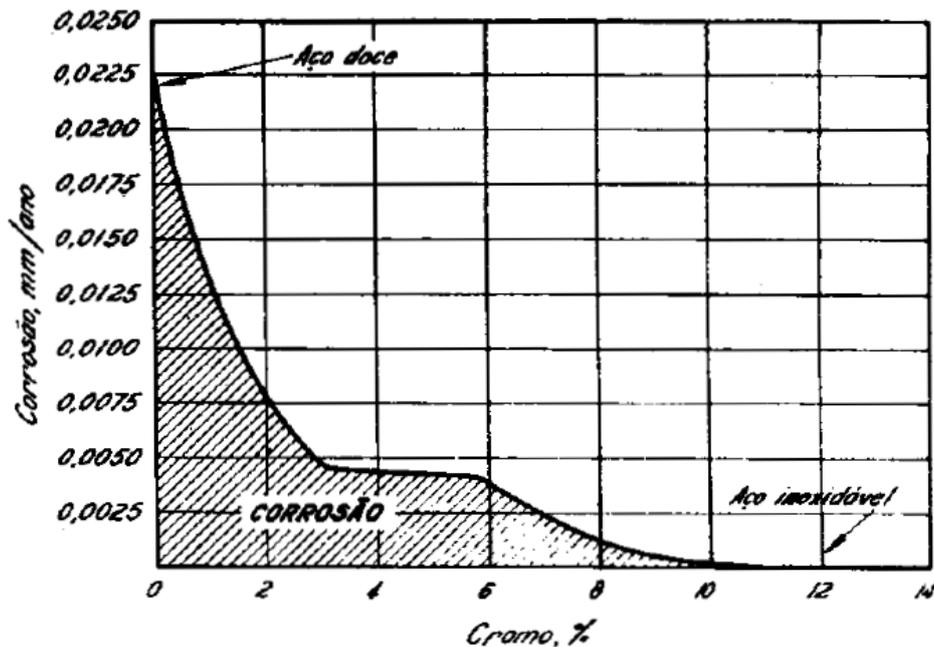
FONTES: GIMENEZ et al (2013).

2.2 AÇO INOXIDÁVEL

O aço inoxidável é uma liga constituída de ferro e cromo, podendo ser adicionado outros elementos como níquel, molibdênio e etc. possui características de corrosão superiores aos aços comuns, fazendo com que aumente sua vida útil (MUNDO EDUCAÇÃO, 2018)

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 9 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 8 - GRÁFICO DE AÇOS-CROMO EXPOSTOS DURANTE 10 ANOS A UMA ATMOSFERA INDUSTRIAL.



Fonte: CHIAVERINI (1977).

Esse tipo de aço possui três principais classificações, ferríticos, austeníticos e martensíticos, segue exemplo de aplicação de cada tipo de aço inoxidável (CHIAVERINI, 1977).

Austenítico - (resistente à corrosão)

- Equipamentos para indústria química e petroquímica
- Equipamentos para indústria alimentícia (cutelaria) e farmacêutica
- Construção civil
- Baixela e Utensílios domésticos.

Ferrítico - (resistente à corrosão, mais barato por não conter níquel)

- Eletrodomésticos (fogões, geladeiras, etc)
- Refrigeríficos
- Moedas
- Indústria automobilística
- Talheres

- Sinalização visual - Placas de sinalização e fachadas

Martensítico (dureza elevada, menor resistência à corrosão)

- Instrumentos cirúrgicos como bisturi e pinças
- Facas de corte
- Discos de freio especiais

2.2.1 AÇO INOXIDÁVEL MARTENSÍTICO CA6NM

Esse tipo de aço foi desenvolvido de acordo com a necessidade, descoberto na Suíça em 1960, estavam com dificuldades na solda dos aços martensítico, portanto desenvolveram o CA6NM, chamaram de aços inoxidáveis martensítico macios (AIMM), possui alta soldabilidade e que tivesse baixas ocorrências de trincas a frio e tem baixa tenacidade na união da solda (PAREDES, 2017).

A classe de aços inoxidáveis martensíticos macios é formada por ligas que contêm teor máximo de 0,08%C, 12 a 17%Cr, 3,5 a 6%Ni e até 2,5%Mo (HENKE et. al. 1998), sendo que a melhoria na soldabilidade é obtida através da diminuição do teor de carbono, que reduz a dureza e conseqüentemente aumenta a tenacidade no metal de solda e na ZTA, além de reduzir a possibilidade de ocorrência de trincas a frio e a quente e de defeitos de solidificação. [HENKE, 1998 e GONÇALVES, 2007]

Seu nome é dado pela sua composição química e utilização:

- 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.

2.2.2 ELETRODO 410 NIMO

O consumível da aspersão térmica chama arame será o E 410 NiMo-15 com diâmetro de 2,4 mm e alimentação manual. A composição química encontra-se na Tabela 3 e suas propriedades mecânicas se encontram na Tabela 4.

Eletrodo básico ligado na alma para a soldagem de aços martensítico-ferríticos laminados, forjados e fundidos de composição similar resistentes à corrosão. Resistente à ação da água, vapor e atmosfera marítima. Em paredes espessas, preaquecimento e entre passes 100-160 °C. Tratamento térmico pós-soldagem 580-620°C (TECHNO ALLOYS, 2016)

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

Dependendo da natureza e condições externas de desgaste, Siebel em 1938 havia distinguido entre os diferentes tipos de desgaste (RIZEJA, 2018):

- Desgaste devido ao atrito no movimento de deslizamento de superfícies sem lubrificantes ou com lubrificantes;

- Desgaste devido ao atrito no movimento de rolamento entre superfícies sem lubrificação ou com lubrificação
- Desgaste durante o contato oscilatório
- Desgaste devido ao momento de partículas sólidas sobre a superfície (erosão)
- Desgaste devido ao movimento de fluidos (cavitação)

Desgaste raramente é catastrófico, mas reduz a eficiência de operação e aumenta a perda de potência, consumo de óleo e a taxa de reposição dos componentes. Desgaste não é uma propriedade intrínseca do material, mas uma característica do sistema. Qualquer mudança de carga, velocidade, ou ambiente, por exemplo, pode causar uma mudança drástica na taxa de desgaste de uma ou ambas as superfícies em contato. (CZICHOS, 1974)

Em 1976 chegou-se a titular alguns principais tipos de desgaste, sendo eles por retirada de material, mudança da geométrica ou das medidas da peça, sendo eles (BAYER, B,1994):

- Abrasão;
- Deslizamento;
- Erosão;
- Químico;
- Fadiga

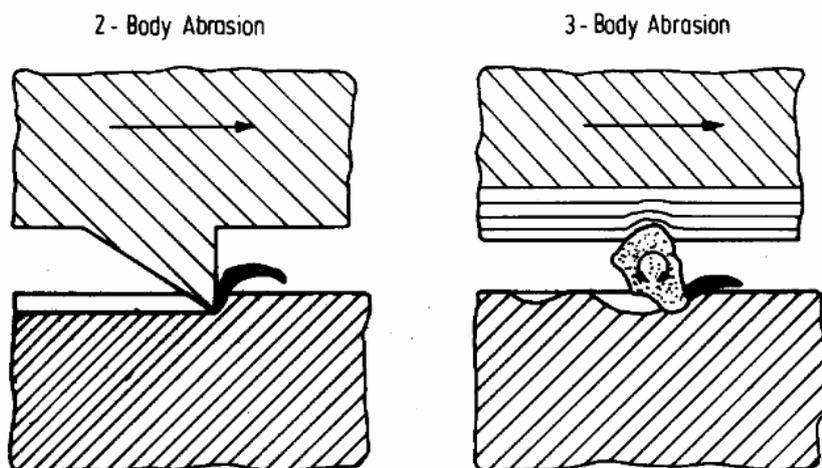
Nesse trabalho será ensaiado o desgaste abrasivo que consiste na retirada de material, será realizado teste de desgaste por riscamento no aço CA6MN revestido por 410NiMo.

2.3.1 DESGASTE POR RISCAMENTO

Ocorre pelo contato de partículas duras entre corpos, removendo partículas, sendo elas pequenas ou grande, sem acabamento, causando buracos, trincos ou lascas (SCHUITEK,2007).

O desgaste por abrasão 2 corpos, é caracterizada por uma das superfícies possuir partículas duras ou protuberantes quando deslizadas sobre a outra ocorre pequena redução de material. Já o desgaste por abrasão 3 corpos, é quando essa superfície dura ou protuberante está localizada entre as outras duas superfícies, livre para deslizar ou rolar entre elas, causando o desgaste, porem esse tipo de desgaste de 3 corpos é inferior ao desgaste citado acima. (BAYER, B,1994). Demonstrado na Figura10.

FIGURA 9 - DIFERENÇA ENTRE DESGASTE POR ABRASÃO DE 2 CORPOS E 3 CORPOS.



FONTE: BAYER, B (1994).

A falha de um componente ou estrutura pode estar associada aos danos causados por quatro mecanismos fundamentais: a deformação plástica, a formação e propagação de trincas, a corrosão ou o desgaste ZUMGAHR(1987) apud LIMA (2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

As preparações dos corpos de provas foram realizadas nos Laboratório de Soldagem do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnologia Federal do Paraná (UTFPR), campus Cornélio Procópio e Laboratório de Aspersão Térmica e Soldagens Especiais do Departamento Engenharia Mecânica (DEMEC) da Universidade Federal do Paraná.

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 5.

TABELA 5 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO INOXIDÁVEL MARTENSÍTICO CA6NM.

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

FORNE: BEHENE (2014).

O corpo de prova foi usinado de tal modo a obter as dimensões finais e foi realizado o jateamento para poder executar o processo de aspersão térmica na superfície.

3.1.2 METAL DE ADIÇÃO

O material de adição utilizado é o arame maciço AWS ER410NiMo com diâmetro de 1,6 mm e alimentação automática, cuja tabela de composição química é mostrada na Tabela 6:

TABELA 6 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO METAL DE DEPOSIÇÃO DE ALTA LIGA 410NiMo.

410NiMo	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
	0,02	0,33	0,54	0,007	0,016	12,33	4,14	0,50

Fonte: PEREIRA, at. al (2001).

3.2 EQUIPAMENTOS E METODOS

3.2.1 JATEAMENTO

Os substratos sofreram o processo recomendado para obtenção da rugosidade superficial necessários à aderência do revestimento e limpeza através do jateamento de abrasivo que garantiu a limpeza grau Sa3, Norma NACE RMN – 01/70. Para o jateamento foi utilizada a cabine da marca CMV modelo 65 9075, mostrada na Figura 11, e a Tabela 7, mostra os parâmetros usados. O ar comprimido impulsiona o impacto de um fluxo de material abrasivo, sob alta pressão, na superfície do substrato

FIGURA 10 – CABINE DE JATEAMENTO (LABATS).



FONTE: OLIVIO (2016).

TABELA 7 – PARÂMETROS EMPREGADOS NO JATEAMENTO ABRASIVO DAS AMOSTRAS.

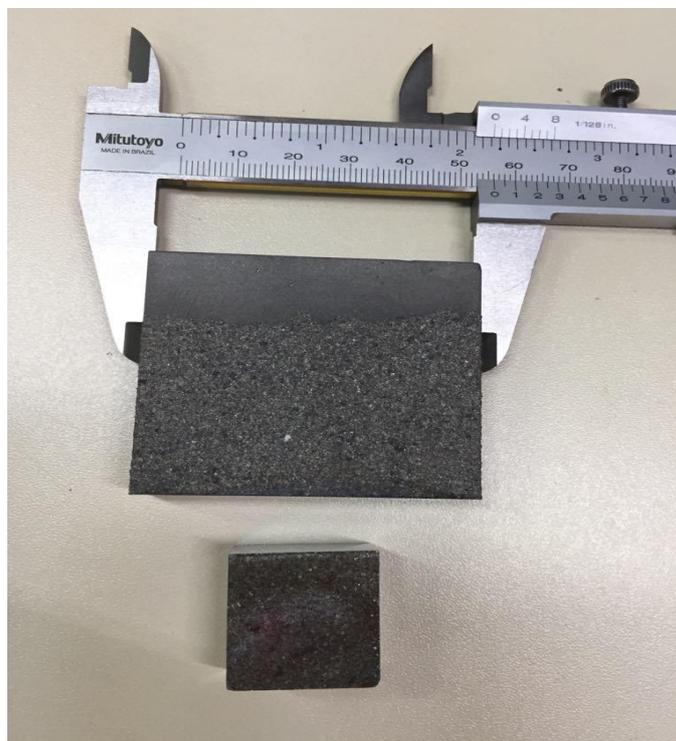
Parâmetro	Valores utilizados
Abrasivo	Óxido de alumínio branco #30mesh
Tipo de jato empregado	Jato por pressão
Gás de transporte do abrasivo	Ar comprimido
Pressão de jateamento	80 à 100 psi
Distância de jateamento	100 mm
Ângulo	90°

FONTE: OLIVIO (2016).

3.2.2 DEPOSIÇÃO DO MATERIAL

Foi aplicado o revestimento de 410 NiMo, no metal de base, pelo processo de aspensão térmica, utilizando arame maciço de 1,6mm. A Figura 12 mostra o corpo de prova já revestido

FIGURA 11 – CORPO DE PROVA JÁ REVESTIDO POR ASPERSÃO TÉRMICA.



FONTE: O Autor (2018).

As dimensões do corpo de prova estão discriminados na Tabela 8.

TABELA 8 – DIMENSÕES DO CORPO DE PROVA REVESTIDO.

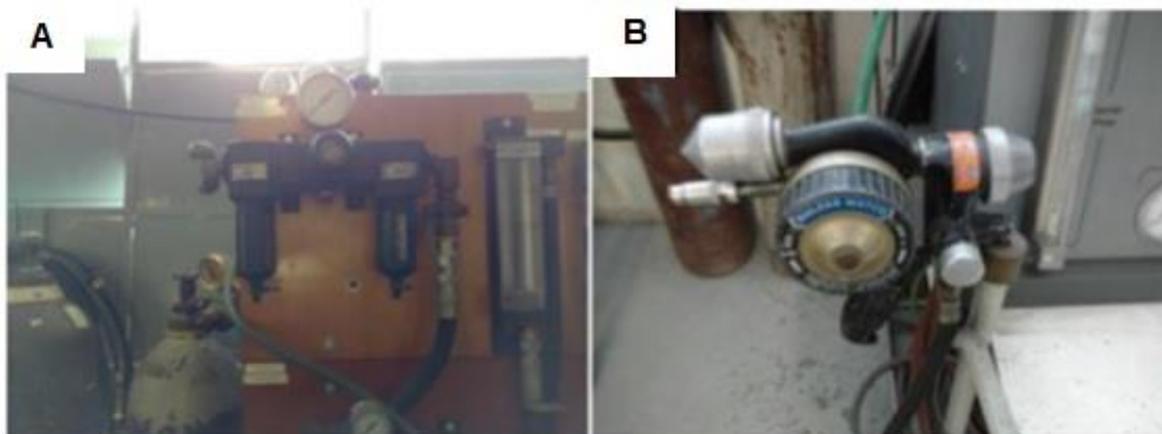
Dimensões [mm]	
Altura	56,85
Largura	48,70
Espessura	12,40

FONTE: O Autor (2018).

3.2.3 EQUIPAMENTOS DE ASPERSÃO TÉRMICA A CHAMA ARAME

O equipamento de aspersão térmica utilizado foi a pistola Sulzer Metco modelo 14E conforme mostra a Figura 13, os gases de combustão foram o oxigênio e acetileno, o gás de arraste foi o ar comprimido.

FIGURA 12 – EQUIPAMENTO DE ASPERSÃO TÉRMICA A CHAMA ARAME (LABATS).



FONTE: OLIVIO (2016).

Para o equipamento de aspersão térmica a chama arame, foram utilizados os seguintes parâmetros (Tabela 9).

TABELA 9 – PARÂMETROS DE DEPOSIÇÃO NO PROCESSO CHAMA ARAME.

PARAMETROS	VALORES UTILIZADOS
Material	Aws Er410nimo Com Diâmetro De 2,4 Mm
Taxa De Alimentação Do Arame	0,45 M/Min
Distância Da Pistola De Aspersão	100 MM
Pressão Do Acetileno	14,5 PSI
Pressão Do Oxigênio	30 PSI
Pressão Do Ar Comprimido	60 PSI
Fluxo Do Acetileno	60 FRM
Fluxo Do Oxigênio	50 FRM
Fluxo Do Ar Comprimido	55 FRM

FRM= Escala de referência utilizada pelo fabricante do fluxômetro.

FONTE: O autor (2018).

3.2.4 MICROSCOPIA OPTICA

O equipamento Olympus BX51, do Laboratório de Materiais e Superfícies (LAMATS) da UFPR, foi utilizado para capturar as imagens da análise de microscopia ótica. Esse equipamento é capaz de capturar imagens com ampliação de 200 a 1000 vezes, fazer medição de espessura do revestimento e quantificar poros.

3.2.5 MICRODUREZA VICKERS

O ensaio de microdureza Vickers adotado, utiliza uma pirâmide de diamante de base quadrada com ângulo entre faces de 136 graus, onde a resistência que o material oferece é avaliada a partir da penetração dessa geometria na superfície.

A norma ASTM E384-05 foi consultada como orientação para a realização das endentações no perfil transversal, com carga de 300g por 15 segundos.

O ensaio foi realizado na UTFPR, campus Cornélio Procópio, no microdurômetro da marca PANATEC ATMI, modelo HV-1000B, apresentado na Figura 14:

FIGURA 13 – MICRODURÔMETRO PANATEC ATMI HV-1000B



FONTE: O Autor (2018).

3.2.6 ENSAIO DE RISCAMENTO

Antes de realizar o ensaio de desgaste abrasivo por riscamento, o corpo de prova foi lavado com acetona na lavadora ultrassônica por cinco minutos. Em seguida, a amostra foi pesada em uma balança de precisão (precisão de 0,0001 g).

A máquina de riscamento encontra-se no LABATS (Laboratório de Aspersão Térmica e Soldagens Especiais) da UFPR e é mostrada na Figura 15.

FIGURA 14 – MÁQUINA DE ENSAIO DE DESGASTE ABRASIVO POR RISCAMENTO



FONTE: O Autor (2018).

A haste e os pesos utilizados são mostrados na Figura 16:

FIGURA 15 – HASTE E PESOS UTILIZADOS NO ENSAIO DE RISCAMENTO.



FONTE: O Autor (2018).

O primeiro risco foi feito após o posicionamento do corpo de prova no equipamento de ensaio por riscamento, somente com o peso da haste. Em

seguida, o corpo de prova foi retirado do equipamento e pesado na balança de precisão, logo após realizar uma nova lavagem da amostra na lavadora ultrassônica, como feito anteriormente.

Após a anotação da nova massa do corpo de prova, depois da realização da primeira ranhura, a amostra é submetida à um segundo risco, como feito na primeira ranhura, porém com uma massa de 1007,38g adicionadas à haste. A pesagem foi realizada novamente, depois de lavar a amostra da mesma forma.

A terceira ranhura foi feita da mesma forma, porém uma massa de 5034,08g foi adicionada à haste e, logo em seguida, a amostra foi lavada e pesada. A quarta, e última, ranhura foi realizada com a adição de uma massa de 6039,33g à haste.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os corpos de provas foram submetidos aos ensaios destrutivos e não-destrutivos, tais como microscopia ótica, ensaio de microdureza e o próprio ensaio de riscamento.

4.1 MEDIÇÃO DA RUGOSIDADE DO SUBSTRATO

A Tabela 10 mostra a média das 10 medições feitas após o processo de jateamento:

TABELA 10 – MÉDIA DAS MEDIÇÕES DE RUGOSIDADE DO SUBSTRATO.

AMOSTRA	MÉDIA DE RUGOSIDADE Ra (μm)
Corpo de prova aspergido	5,33

FONTE: O Autor (2018).

Utilizando abrasivo de óxido de alumínio branco com #30 mesh, a média da rugosidade obtida ($5,33\mu\text{m}$) mostrou que segundo (TERRES, 2006), ela está dentro da faixa de rugosidade R_a entre $4,99$ e $8,59\mu\text{m}$, indicada como aceitável para as medições.

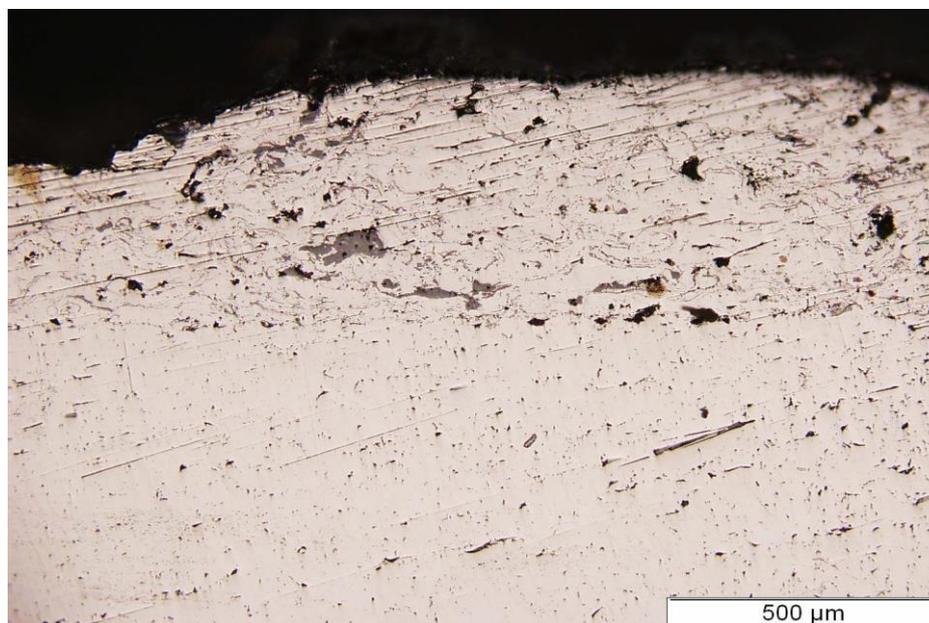
É importante garantir amostras estaticamente iguais para proporcionar maior confiabilidade na avaliação dos resultados das medições de aderência. Isso é obtido através dos dados de rugosidade dos substratos.

4.2 ANÁLISE VIA MICROSCOPIA ÓTICA DO REVESTIMENTO

O revestimento obtido é bastante homogêneo, com lamelas bem definidas com poucos e pequenos poros e inclusão de óxidos. É possível de se verificar as fases metálicas e os óxidos interlamelares.

A Figura 17 mostra a imagem capturada pelo microscópio com aumento de 20 vezes:

FIGURA 16 – MICROSCOPIA ÓTICA DA AMOSTRA COM AUMENTO DE 20X.

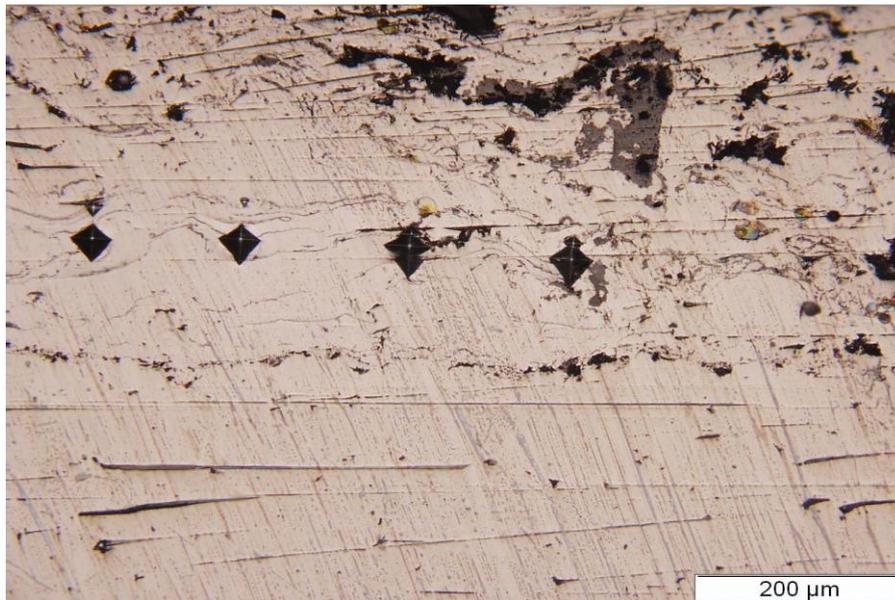


FONTE: O Autor (2018).

4.3 ANÁLISE DE MICRODUREZA VICKERS DO REVESTIMENTO

Foram feitas oito medidas de microdureza Vickers na seção transversal no revestimento aspergido, como no trabalho de OLIVIO (2016) e a Figura 18 mostra um desenho esquemático do ensaio:

FIGURA 17 - IMAGEM DO ENSAIO DE MICRODUREZA VICKERS.



FONTE: O Autor (2018).

As medidas de dureza foram realizadas na seção vertical, e as médias das medidas são mostradas na Tabela 11:

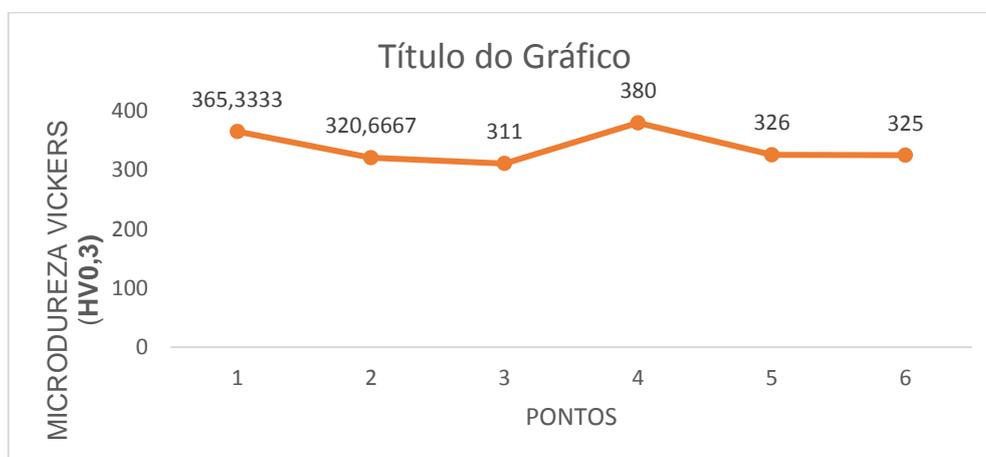
TABELA 11 – MÉDIA DAS MICRODUREZAS NA SEÇÃO VERTICAL DAS AMOSTRAS ASPERGIDAS.

PONTOS	MEDIÇÕES ($HV^{0,3}$)
1	365,3333
2	320,6667
3	311
4	380
5	326
6	325
MÉDIA	337,9
DESVIO PADRÃO	26,9

FONTE: O Autor (2018).

A Figura 19, mostra os valores de microdureza obtidos para a amostra aspergida:

FIGURA 18 - MICRODUREZA DA SEÇÃO VERTICAL DA AMOSTRA ASPERGIDA.



FONTE: O Autor (2018).

4.4 ENSAIO DE DESGASTE ABRASIVO POR RISCAMENTO

Os resultados do ensaio de desgaste por riscamento, estão contidos na Tabela 12:

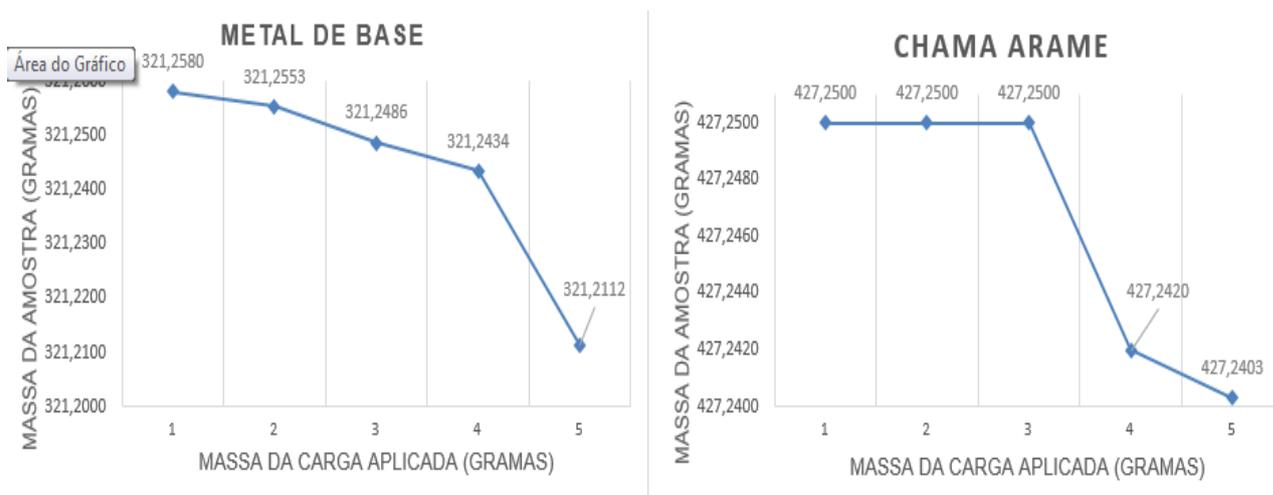
TABELA 12 - RESULTADOS DO ENSAIO DE DESGASTE POR RISCAMENTO.

Condição	Peso (gramas)
Peso inicial da amostra	427,2500
Carga: Haste (1448,46 g)	427,2500
Carga: Haste + 1007,38g	427,2500
Carga: Haste + 5034,08	427,2420
Carga: Haste + 6039,33	427,2403
Perda total da massa	0,0097

FONTE: O Autor (2018)

A Figura 20 mostra os resultados do ensaio de desgaste por riscamento:

FIGURA 19 - RESULTADO DO ENSAIO DE DESGASTE POR RISCAMENTO



FONTE: O Autor (2018).

A perda total de massa verificada após o ensaio de desgaste por riscamento, foi de apenas 0,0097 gramas, o que indica que o revestimento é capaz de resistir ao desgaste abrasivo e, portanto, adequado para aplicação.

5 CONCLUSÃO

Na microscopia mostra um revestimento com coalescência das lamelas, com poucos poros e inclusão de óxidos, verifica-se uma quantidade maior de fases metálicas e menores quantidades de óxidos interlamelares, sendo assim produz uma melhora significativa nas características do revestimento aspergido, redução da porosidade e aumento da área de contato entre as lamelas e conseqüentemente da coesão entre estas.

Analisando os dados retirados dos ensaios de microdureza Vickers e de desgaste abrasivo por riscamento, levando em conta também a análise via microscopia ótica, é correto concluir que:

De acordo com a baixa perda de massa obtida no ensaio de desgaste por riscamento, na ordem de 0,0097 gramas, comparado ao metal de base que teve perda de massa, na ordem de 0,0468 gramas, mostra que o revestimento é capaz de proteger a superfície com sucesso contra os efeitos do desgaste abrasivo, considerando a dureza do revestimento 337,9 HV0,3, significativamente maior do que a dureza do metal de base, que é de 175HV0,3

Portanto, de acordo com os dados, podemos concluir que o revestimento 410 NiMo pode auxiliar a proteger ou recuperar superfícies desgastadas em aplicação explícita de ordem industrial.

REFERENCIAS

ALLENSTEIN, A. N. **Estudo da Resistência à Cavitação do Aço Inoxidável Martensítico CA6-NM Nitretado por Plasma**. Acesso em 07 de outubro de 2017. Disponível em <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/136.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

CHIAVERINI, V; **Aços e Ferros Fundidos**,, 6ª edição, Associação Brasileira de Metais (ABM), São Paulo, 1988

CMR; **Boletim Geologia e Metalurgia XVIII**. Acesso em 18 de outubro de 2018. Disponível em <http://sites.poli.usp.br/geologiaemetalurgia/Revistas/Edi%C3%A7%C3%A3o%2011/artigo11.16.pdf>

GARTNER, F., VOYER, J., X. Qi, KREYE, H., **“New Challenges For Wire and Rod Flame Spraying,”** Institute Of Materials Technology, 2006.

GONÇALVES, B. H. B.; **Estudo comparativo da resistência à erosão por cavitação do metal de solda depositado por um arame tubular tipo 13%Cr - 4%Ni -0,4%Mo e do aço fundido ASTM A 743 CA-6NM**. Dissertação de Mestrado, Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

MARANHO, O. **Aspersão Térmica de Ferro Fundido Branco Multicomponente**. Dissertação de Doutorado. Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2006. 36

MARQUES, P. V. **Aspersão Térmica**. Acesso em 07 de outubro de 2017. Disponível em <<http://www.infosolda.com.br/artigos/processos-de-soldagem/231-aspersao-termica.html>>

NACE. Norma RM 01/70. **Visual standard for surfaces of new steel airblast cleaned with sand abrasive**. 1970.

NASCIMENTO, I. A.; BAPTISTA, A. L. B. **Desgaste**. Acesso em 07 de outubro de 2017. Disponível em <<http://www.spectru.com.br/Metalurgia/diversos/desgaste.pdf>>

OLIVIO, E. F. T. et. al. **Análise Do Revestimento De 410NiMo Depositado Por Aspersão Térmica No Aço Inoxidável Martensítico Ca6nm Contra A Erosão Por Cavitação**. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

PAREDES, R. S. C.; **Aspersão Térmica, Texto Guia da Disciplina de Aspersão Térmica na Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFPR** (disponível na Biblioteca da UFPR-Centro Politécnico). Universidade Federal do Paraná, 2009.

PEREIRA, S. A.; BUSCHINELLI, A. J. A.; NIÑO, C. A.; HENKE, S. L.; **Estudo Comparativo do Reparo por Soldagem dos aços Inoxidáveis Martensíticos AISI 410 NiMo e CA6NM**. : I Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação - COBEF, Curitiba, 2001. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2001.

RIJEZA; **Aspersão Térmica**. Acesso em 18 de outubro de 2018. Disponível em https://www.rijeza.com.br/aspersao-termica?gclid=Cj0KCQjwi8fdBRCVARIsAEkDvnJqJCJ9V7dmH1rsGFNYnFpJHGdj8hkZbzmTUvd3Yr3qHM3FV1KoBZ0aAodHEALw_wcB

RIZEJA; **E-BOOK TUDO O QUE VOCE PRECISA SABER SOBRE ASPERSÃO TÉRMICA**. Acesso 18 de outubro de 2018. Disponível em <https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/10803/1535308168Asperso_Termica.pdf>

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

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