

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

JÉSSILY FLÁVIA DE SIQUEIRA
RAFAELA GUERGOLET SANCHES

**AVALIAÇÃO DA DEPOSIÇÃO DA MISTURA DE PÓS DE NÍQUEL E ALUMÍNIO
DEPOSITADOS PELO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA CHAMA A PÓ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014

JÉSSILY FLÁVIA DE SIQUEIRA
RAFAELA GUERGOLET SANCHES

**AVALIAÇÃO DA DEPOSIÇÃO DA MISTURA DE PÓS DE NÍQUEL E ALUMÍNIO
DEPOSITADOS PELO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA CHAMA A PÓ**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial do Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientadora: Prof^a M^a Émillyn Ferreira Trevisani Olivio

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DA DEPOSIÇÃO DA MISTURA DE PÓS DE NÍQUEL E ALUMÍNIO DEPOSITADOS PELO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA CHAMA A PÓ

Por

JÉSSILY FLÁVIA DE SIQUEIRA

RAFAELA GUERGOLET SANCHES

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 19:30 h do dia 03 de Dezembro de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Cornélio Procópio. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho **aprovado**.

Prof^a M^a Émillyn Ferreira Trevisani Olivio

Prof. Orientador

Prof. Dr. Paulo César Moselli

Membro Titular

Prof. Esp. Carlos De Nardi

Membro Titular

Dedicamos esse trabalho a nossas
famílias que sempre nos apoiaram, e a
nossos amigos que sempre estiveram do
nosso lado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus, que na sua infinita bondade nos concedeu graça para que pudéssemos realizar esse trabalho e assim, chegar ao fim dessa jornada.

Também agradecemos nossa orientadora, Prof^a M^a Émillyn Ferreira Trevisani Olivio, que prontamente nos apoiou e nos auxiliou na confecção desse projeto.

Não podemos deixar de gratular nossas famílias que, durante todos esses anos estiveram do nosso lado contribuindo de diversas maneiras para que pudéssemos chegar aonde chegamos.

Por fim, agradecemos a Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Cornélio Procópio e à Universidade Federal do Paraná por disponibilizar os laboratórios da Engenharia Mecânica, e por nos ajudar disponibilizando os materiais e equipamentos para realização das deposições.

*“Deus nunca disse que a jornada seria
fácil, mas Ele disse que a chegada valeria
a pena.”*

MAX LUCADO.

SANCHES, Rafaela Guergolet. SIQUEIRA, Jéssily Flávia. **AVALIAÇÃO DA DEPOSIÇÃO DA MISTURA DE PÓS DE NÍQUEL E ALUMÍNIO DEPOSITADOS PELO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA CHAMA A PÓ.** Cornélio Procópio. Trabalho de Conclusão de Curso. Tecnologia em Manutenção Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

RESUMO

Para cada tipo de atmosfera agressiva, como, ambientes corrosivos, altas temperaturas e esforços mecânicos, é necessário o desenvolvimento de ligas específicas, que tenham propriedades defensoras compatíveis ao meio, para suportar as mais diversas condições de esforços exigidas. A pesquisa em questão objetivou produzir e estudar intermetálicos *in situ* formados através do processo de AT Chama a Pó. Onde foi depositado por gravidade uma mistura de pós (com 50% Ni e 50% Al) em substratos de aço carbono 1020, e através dos resultados obtidos pelo ensaio de microdureza Vickers e das análises feitas pelas técnicas de microscopia ótica, difração de raio-x, foi possível formar um revestimento homogêneo com os intermetálicos, que são resistente à oxidação e resistente a altas temperaturas.

Palavras-chave: Aspersão Térmica. Chama a Pó. Intermetálicos NiAl. Revestimento Estável.

SANCHES, Rafaela Guergolet. SIQUEIRA, Jéssily Flávia. **EVALUATION OF THE DEPOSITION OF POWDER MIX OF NICKEL AND ALUMINUM DEPOSITED BY THE THERMAL SPRAY PROCESS.** Cornélio Procópio. Trabalho de Conclusão de Curso. Tecnologia em Manutenção Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

ABSTRACT

For each type of aggressive atmosphere, such as, corrosive environments, high temperature and mechanical stresses, the development of specific alloys are required, which have properties compatible advocates the means to withstand the various conditions of effort required. The research in question aimed to produce and study intermetallic formed in situ through the AT Draws powder process. Which was deposited by gravity a mixture of powders (50% Ni and 50% Al) in carbon steel substrates 1020, and by the results obtained by Vickers microhardness testing and analysis made by optical microscopy techniques diffraction raio- x was possible to form a homogeneous coating of intermetallic which is resistant to oxidation and resistant to high temperatures.

Key-words: Thermal Spraying. Powder Flame Spray. Intermetallic NiAl. Stable Coating.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de aplicação do processo de aspersão térmica	14
Figura 2 - Figura 2 - Esq do processo de aspersão térmica Chama Pó	15
Figura 3 - Esq. da seção transv. de uma tocha de aspersão por FS utilizando arame.....	16
Figura 4 - Diagrama Ni e Al.....	17
Figura 5 – Est. cristalina dos comp. intermetálicos: a) Ni ₃ Al e b) NiAl.	18
Figura 6 - Cabine de Aspersão Térmica.....	22
Figura 7 - Cortadora metalográfica AROTEC COR-40, UTFPR-CP.....	23
Figura 8 - Embutidora automática Tempopress 2, UTFPR-CP.....	24
Figura 9 - Corpo de prova embutido.....	24
Figura 10 - Foto do equipamento de microdureza Vickers.....	25
Figura 11 - Microscópio Ótico, UFPR.....	26
Figura 12 - Imagem da Microscopia Ótica.....	29
Figura 13 - Presença de Incrustação no Revestimento.....	30
Figura 14 - Difratomia do Revestimento Depositado.....	31
Quadro 1 - Atribuições e temperatura máxima de uso para aluminetos de Ni..	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros no Processo de Jateamento.....	21
Tabela 2 - Parâmetros Utilizados no Processo AT.....	23
Tabela 3 - Resultados do Ensaio de Microdureza.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AT	Aspersão Térmica
CCC	Cúbico de Corpo Centrado
CFC	Cúbico de Face Centrada
DRX	Difratometria de Raio-X
FS	Flame Spray
HVOF	Alta Velocidade de Oxigênio e Combustível
MO	Microscopia Ótica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivo Específico	13
1.2	JUSTIFICATIVAS	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	ASPERSÃO TÉRMICA (AT)	14
2.1.1	Chama a Pó	15
2.1.2	Aspersão Térmica a Chama Arame	16
2.2	LIGAS DE ALUMÍNIO	17
2.3	REVESTIMENTOS DE NI E AL DEPOSITADOS POR AT	19
3	MATERIAIS E METODOLOGIA APLICADA	21
3.1	SUBSTRATOS	21
3.2	COMPOSIÇÃO DO PÓ	22
3.3	DEPOSIÇÃO	22
3.4	CARACTERIZAÇÃO	23
3.4.1	Microdureza	25
3.4.2	Microscopia Ótica (MO)	26
3.4.3	Difratometria de Raio-X (DRX)	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1	CARACTERIZAÇÃO	28
4.1.1	Microdureza	28
4.1.2	Microscopia Ótica	29
4.1.3	Análise de Fases Observada via DRX	30
5	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

A possibilidade de modificar a superfície de um material aplicando revestimentos constituintes de materiais nobres e resistentes para, dessa forma, aumentar a sua vida útil, tornou-se um objeto de estudo muito importante e vantajoso, sendo possível empregá-lo nas mais diversas áreas de aplicação, potencializando também a recuperação de áreas danificadas.

Os compostos intermetálicos Ni e Al possuem elevada resistência mecânica, resistência a oxidação e altas temperaturas (CARVALHO 2007). O diagrama de fases níquel-alumínio apresenta a hipótese de formação de cinco compostos: NiAl_3 , Ni_2Al_3 , NiAl (composição à baixas temperaturas), Ni_5Al_3 e Ni_3Al . Este projeto visa o desenvolvimento e estudo do processo de Aspersão Térmica Chama Pó, com o objetivo de depositar uma camada protetora, resultante da mistura dos elementos níquel e alumínio analisando a formação de intermetálicos Ni_3Al e o NiAl , favorecendo a formação de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, que é o principal óxido responsável pela proteção nessas ligas (PENG e WANG, 2011), assim como procedimentos para sua aplicação que resultem em uma maior aderência e baixa porosidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Formar intermetálicos do tipo NiAl e Ni_3Al com baixa porosidade e elevada aderência, estudando os métodos para sua obtenção e processo de aplicação.

1.1.2 Objetivo Específico

Através do processo de Aspersão Térmica Chama Pó, almejou-se obter intermetálicos da mistura dos pós de Ni e Al do tipo NiAl e Ni₃Al, que apresentam uma série de características benéficas para processos de revestimentos protetores a oxidações, desgaste em altas temperaturas e corrosão. Dessa forma alguns procedimentos foram atendidos:

- Deposição da mistura dos pós de Ni e Al;
- Análise das amostras através de diferentes técnicas;
- Caracterização da viabilidade do revestimento.

1.3 JUSTIFICATIVAS

Os intermetálicos de maior relevância formados pela liga NiAl são, Ni₃Al e NiAl. Eles apresentam grande resistência a oxidação, desgaste e resistência à corrosão a altas temperaturas.

Essas características podem ser alcançadas aplicando-se revestimentos de NiAl através da Aspersão térmica, na qual espera-se que durante o processo de deposição, possam se produzir intermetálicos NiAl (BIRKS et al., 2006).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPERSÃO TÉRMICA (AT)

O processo de aspersão térmica (AT) produz revestimentos protetores, onde este é depositado em um substrato, no qual o recobrimento apresenta características diferentes da superfície em que será cingido (PAREDES, 2009). Esse material pode ser metálico ou não-metálico, onde por intermédio de uma pistola de aspersão as partículas finamente divididas de materiais são aceleradas na condição fundida ou semi fundida em direção ao substrato, e aderem às irregularidades da superfície (PAREDES, 2009).

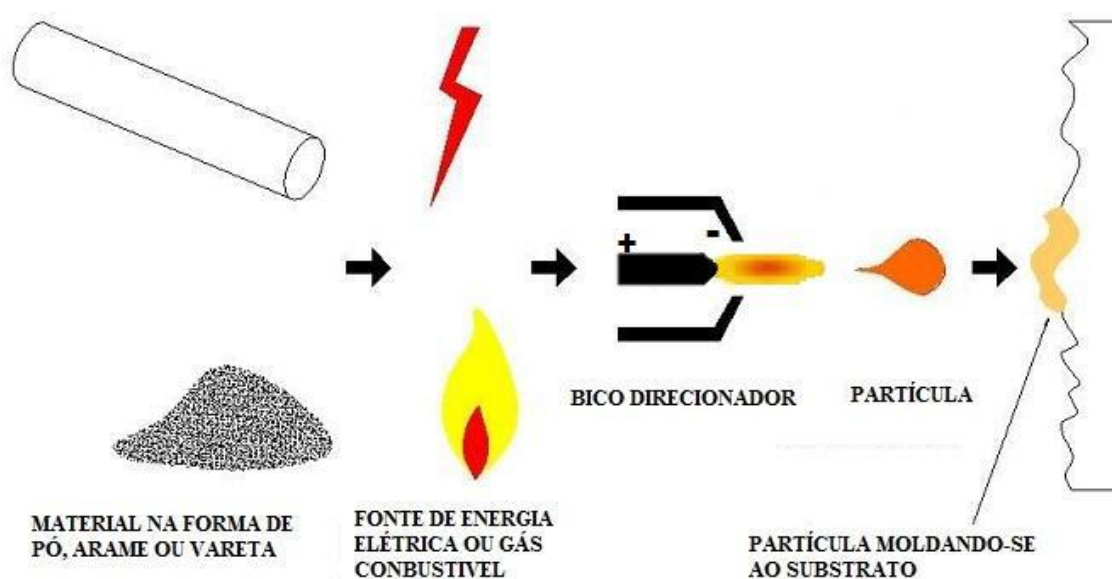


Figura 1 - Esquema de aplicação do processo de aspersão térmica

Fonte: Paredes, 2007.

2.1.1 Chama a Pó

O processo de aspersão térmica a chama oxiacetilênica a pó é o mais clássico dentre todos os existentes, onde o pó alimenta a pistola por intermédio da gravidade, Figura 2, e através de um gás, que pode ser ar comprimido ou inerte (argônio ou nitrogênio), é direcionado para a superfície em que se deseja depositá-lo (CORTÉS, 1998).

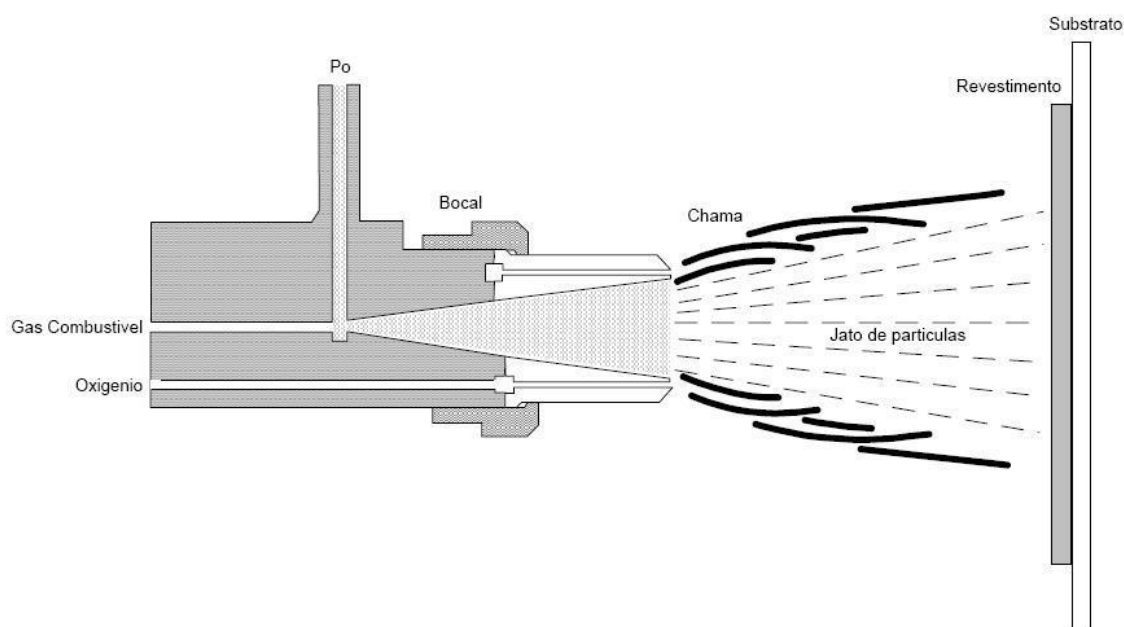


Figura 2 - Esquema do processo de aspersão térmica Chama Pó

Fonte: Pawlowski, 2008.

Foi o primeiro processo de aspersão térmica, desenvolvido em aproximadamente 1910 e possui até os dias de hoje, devido ao seu baixo custo e a facilidade de manuseio. (MENEZES, 2007)

Esse método produz revestimentos com uma menor resistência adesiva e coesiva e maior porosidade devido à baixa velocidade alcançada pelas partículas. (OLIVIO, 2012)

2.1.2 Aspersão Térmica a Chama Arame

A combustão no bico da pistola pode alcançar níveis de temperaturas em torno de 3100°C e enquanto a peça durante a aspersão a temperatura entorno de 200°C (CORTÉS, 1998).

A utilização do material na forma arame possui algumas vantagens em relação daquele em forma de pó. A velocidade de transferência das partículas podem ser maiores, possuindo melhores resultados no momento do impacto contra o substrato devido a maior energia cinética. Este fato ocorre devido a possuir uma fusão mais uniforme, que é garantida pelo controle da velocidade de alimentação do arame, deixando-o tempo suficiente para a fusão do elemento. (CORTÉS, 1998)

Segundo CORTÉS, 1998, as principais variáveis no processo de AT a chama com arame, Figura 3, são: a pressão e fluxo do gás na transferência das partículas, a velocidade de alimentação do arame e o fluxo do gás para formar a chama.

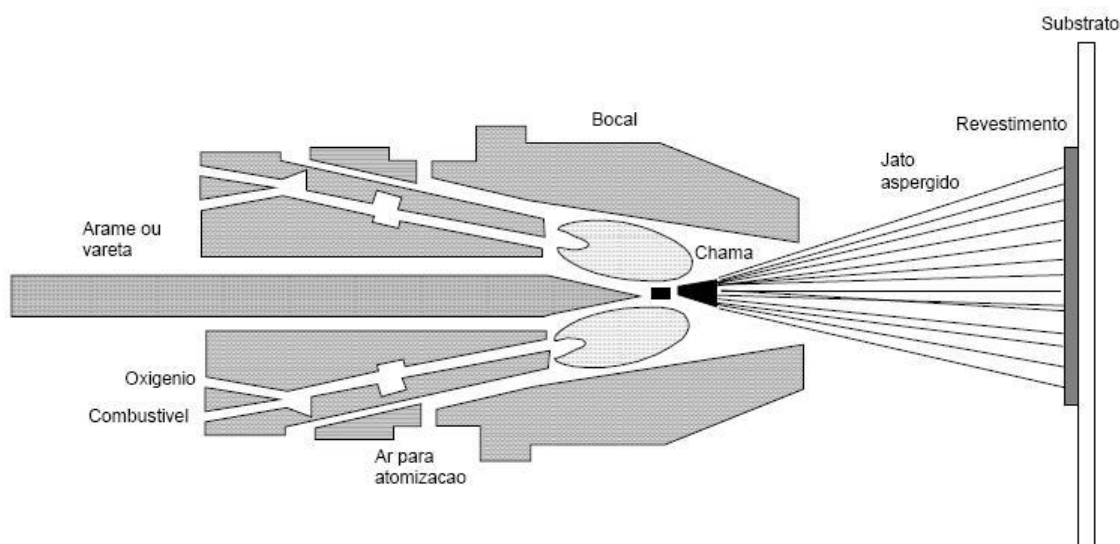


Figura 3 - Esquema da seção transversal de uma tocha de aspersão por FS utilizando arame
Fonte: Marques, 2003.

2.2 LIGAS DE NÍQUEL E ALUMÍNIO

O diagrama de fase do níquel-alumínio, apresentados na Figura 4, exibe compostos intermetálicos estáveis como, Ni_3Al e NiAl . A fase Ni_3Al tem uma estrutura cristalina $L1_2$, um derivado da estrutura cúbica de face centrada (CFC); NiAl possui uma estrutura B2, um derivado da estrutura de corpo centrado (CCC). Por causa das diferentes estruturas cristalinas, os dois aluminetos de níquel têm muitas propriedades físicas e mecânicas distintas (ASM HANDBOOK, 1992).

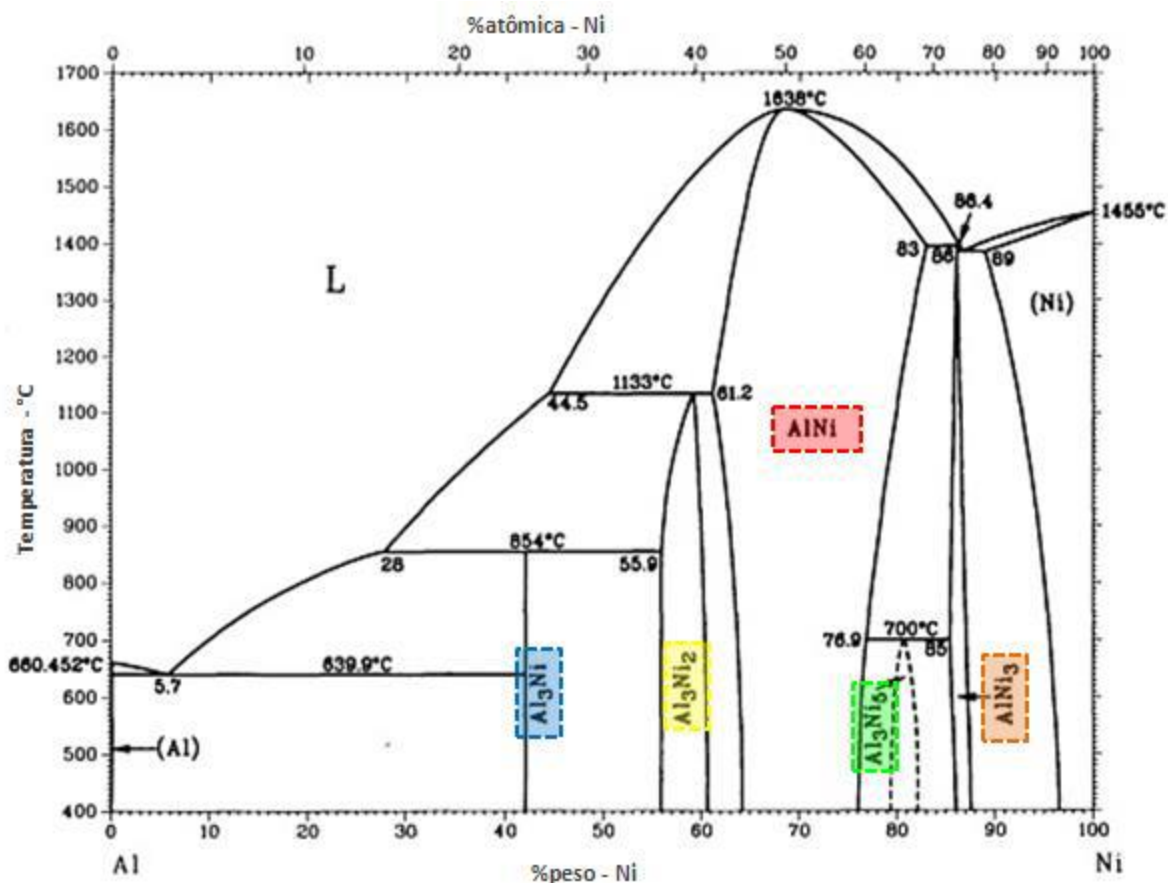


Figura 4 - Diagrama Ni e Al

Fonte: Adaptado ASM HANDBOOK, 1992 e PADILHA, 2011.

Os dois aluminetos de níquel apresentam propriedades mecânicas e físicas diferenciadas, por o Ni_3Al ter uma estrutura cristalina $L1_2$, derivada da estrutura

cúbica de face centrada (CFC), e o NiAl ter um estrutura B₂, derivada de uma estrutura de corpo centrado (CCC), Figura 5. (ASTM C-633, 1994).

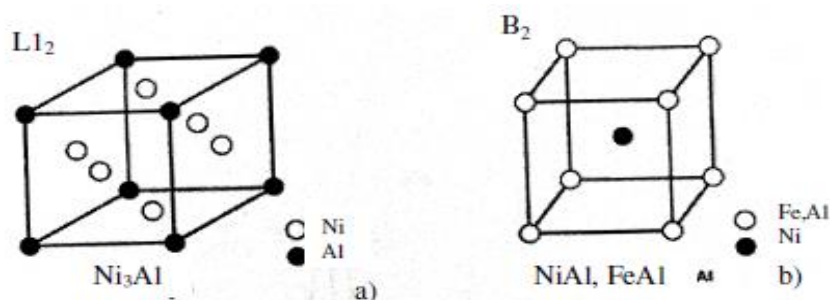


Figura 5 - Estrutura cristalina dos compostos intermetálicos: a) Ni₃Al e b) NiAl.

Fonte: ASTM C-633 (1994)

Estes intermetálicos possuem uma série de vantagens que os tornam atraentes para aplicações em alta temperatura, conforme a Quadro 1 a seguir. Portanto, esses contêm uma quantidade adequada de alumínio para formar, em ambientes oxidantes, filmes finos de alumina (Al₂O₃) que é um óxido estável e protetor (OKAMOTO, 2004 e PADILHA, 2011).

Intermetálicos	Propriedade	Temperatura máxima de uso (°C)	
		Limite de resistência (MPa)	Limite de Corrosão
Ni ₃ Al	Resistência a oxidação, carburização e nitridação; resistência a altas temperaturas.	1100	1150
NiAl	Alto ponto de fusão; alta condutividade térmica; resistência a oxidação, carburização e nitridação	1200	1400

Quadro 1 - Atribuições e temperatura máxima de uso para aluminetos de níquel

Fonte: DEEVI *et. al* (1997)

O Ni₃Al desenvolve uma tensão de escoamento que aumenta com a elevação da temperatura, este fator faz com que se torne mais resistente que outras ligas

sólidas em altas temperaturas, além de apresentar propriedades adequadas de resistência ao desgaste. (GONG *et al.*, 2011 e PADILHA, 2011)

Para aplicações em alta temperaturas o NiAl possui um melhor desempenho que o Ni₃Al. Possui um ponto de fusão 1638°C contra 1456°C, uma densidade menor (5,86 g/cm³ para o NiAl contra 7,50 g/cm³ para o Ni₃Al) e um maior módulo de Young (294 GPa contra 179 GPa). (OZDEMIR *et al.*, 2008 e PADILHA, 2011)

As ligas de NiAl, são resistentes à oxidação a altas temperaturas, possuem alto ponto de fusão, baixa densidade e alta dureza. (SOUZA, et. AL, 2006)

2.3 REVESTIMENTOS DE NI E AL DEPOSITADOS POR AT

Diversos estudos vêm sendo feitos onde, através do processo de AT, aplica-se uma mistura de Ni-Al e se estuda os resultados obtidos após a análise dos substratos. Para intuito de comparação, destacam-se alguns estudos:

→ Trevisani, 2011, avaliou diferentes misturas de Ni-Al depositadas pelo processo de AT chama a pó, cada uma dessas misturas foram depositadas em três diferentes condições: sem pré e pós aquecimento, com pré-aquecimento e por fim, com pré e pós aquecimento do substrato. Através das análises das fases detectadas pelo DRX foi possível concluir que: a liga comercial Diamalloy (95%Ni e 5%Al) apresentou a formação dos intermetálicos Ni₃Al, NiAl e NiO, esse fato foi devido a transformação do 95%Ni5%Al durante o processo de deposição.

A exposição à chama (200°C), durante a deposição não foi capaz de contribuir para a formação de α -Al₂O₃, em nenhuma das ligas, todavia, foi verificado picos de NiO em todas as amostras analisadas. Utilizando a difratometria por raio-x nas misturas de Ni Al, foi possível detectar somente picos de Al, Ni e NiO, não havendo a formação de intermetálicos. Esse fato nos leva a duas possibilidades: a temperatura de 200°C, de pré e pós aquecimento e a temperatura e o tempo de exposição do pó durante o processo de deposição. Os maiores valores de dureza foram encontrados na deposição da liga comercial Diamalloy, onde houve formação de

intermetálicos NiAl. As MO mostraram que os substratos que receberam pré e pós aquecimento, apresentaram revestimentos contendo uma estrutura mais homogênea e lamelas mais finas.

Após sofrer tratamento térmico, a liga comercial Diamalloy foi a que apresentou maior oxidação. Apesar dos resultados de tração terem mostrado valores de tensão inferiores aos depositados pelo processo HVOF ou plasma, os valores apresentados nesse estudo são considerados muitos altos para um revestimento depositado por FS. Os revestimentos avaliados apresentaram elevada aderência, baixa porosidade e pouca inclusão de óxidos nas misturas de Ni e Al, tornando o processo chama a pó viável e econômico para a aplicação dessas ligas de Ni e Al, onde normalmente são depositadas por processos mais sofisticados e conseqüentemente, mais caros.

→ Padilha, 2011, estudou o desenvolvimento “*in situ*” de intermetálicos Ni-Al que se formaram em superfícies de aço inoxidável AISI 304 através da deposição de pós de níquel e alumínio pelo processo de aspensão térmica chama a pó. As misturas foram depositadas em diferentes condições e através da análise DRX foi possível detectar a formação de compostos intermetálicos do tipo NiAl e Ni₃Al em todas as amostras. Os intermetálicos se forma de maneira descontínua e não homogênea. As análises também verificaram a formação de NiO e um óxido composto, onde ambas tendem a funcionar como reforço mecânico a liga, ademais, esses óxidos são atrativos para aplicações onde a prevenção a oxidação seja necessária. A aplicação do pré e pós-aquecimento a 400°C, é um fator que contribui de forma fundamental para a formação de óxidos.

3 MATERIAIS E METODOLOGIA APLICADA

A metodologia se resumiu na avaliação da deposição de camadas da mistura de um pó preparado com 50% Ni e 50% Al, ambos com granulometria entre 45 µm e 106 µm, depositadas através da aspersão térmica a chama a pó em chapas de aço carbono 1020 com dimensões 15x10x3mm para ensaio e análises posteriores.

3.1 SUBSTRATOS

Foram utilizadas 4 (quatro) chapas de aço carbono 1020, com dimensões 15x10x3mm. Os substratos passaram pelo processo indicado para obtenção da rugosidade ideal e limpeza através do jateamento de abrasivos. Essa técnica possibilitou aos corpos de prova condições favoráveis para o revestimento.

Para o jateamento foi usada a cabine do Laboratório de Processos de Fabricação da UTFPR Câmpus Cornélio Procópio, a tabela seguinte apresenta os parâmetros utilizados para o processo de jateamento.

Tabela 1 - Parâmetros no Processo de Jateamento

PARÂMETRO	VALORES UTILIZADOS
Abrasivo	Granalhas Esféricas de Aço
Tipo de Jateamento	Jato de Pressão
Gás de Transporte	Ar Comprimido
Pressão	80 à 100 psi
Distância	100 mm
Ângulo	90°

Fonte: Autoria Própria

3.2 COMPOSIÇÃO DO PÓ

Baseando-se no Diagrama da Figura 4 (página 17), foi escolhida uma composição de mistura que nos concede a possibilidade de formar NiAl, que é um dos intermetálicos almejados nesta experiência. Os pós (níquel e alumínio) foram peneirados em um peneirador automático da marca VIBROTECH CT-025 para chegar a granulometria ideal (entre 45 e 106 μm) depois misturados entre si na proporção de 50% Ni e 50% Al em um misturador metálico tipo Y rotacionado em um torno mecânico a 50 RPM, por 2 horas.

3.3 DEPOSIÇÃO

A deposição foi realizada no Laboratório de Soldagem da UTFPR – CP, do Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica (DAMEC) da UTFPR.

Foi utilizada uma cabine de aspersão (Figura 6), confeccionada do próprio campus, com sistema de exaustão e retirada do pó via parede com lâmina de ar. A máquina utilizada foi a pistola da marca MSC, com alimentação do pó por gravidade e base vibratória.



Figura 6 - Cabine de Aspersão Térmica
Fonte: Autoria Própria

Os gases utilizados no processo foram o oxigênio e acetileno e o ar comprimido como gás de transporte.

Os parâmetros de deposição estão dispostos na tabela seguinte:

Tabela 2 – Parâmetros Utilizados no Processo AT

Parâmetros	Valores
Distância Substrato/Tocha	100 mm
Pressão do Ar Comprimido	800 kPa (116 psi)
Pressão do Oxigênio	344,75 kPa (50 psi)
Pressão do Acetileno	117,21 kPa (17 psi)

Fonte: A autoria Própria

3.4 CARACTERIZAÇÃO

Após a deposição, foi selecionado o corpo de prova cujo revestimento aparentava ser mais espesso. O substrato foi cortado em 6 partes iguais, utilizando um disco de corte na máquina de policorte, marca AROTEC modelo COR – 40, no Laboratório de Materiais da UTFPR CP (Figura 7).



Figura 7 - Cortadora metalográfica AROTEC COR-40, UTFPR-CP
Fonte: Fambrini, 2013

Das 6 partes, uma delas foi embutida com baquelite preto em uma prensa embutidora automática, da marca Struets, modelo Tempopress 2, por 15 min mantendo uma pressão de 10 bar (Figura 8). A parte embutida foi lixada em politriz automática, com lixas de granulometria entre 150 e 1200.



Figura 8 - Embutidora automática Tempopress 2, UTFPR - CP
Fonte: Fambrini, 2013

Após o embutimento e lixamento, o corpo de prova foi polido com pano de polimento e pasta de diamante, (Figura 9).



Figura 9 - Corpo de prova embutido
Fonte: Autoria Própria

3.4.1 Microdureza

O ensaio de Microdureza Vickers baseia-se na resistência que o material apresenta à penetração de uma pirâmide de diamante, aplicado a uma determinada carga sobre o material a ser avaliado. No presente ensaio, foi utilizada uma carga de 300g por 15 segundos, o equipamento empregado foi o Microdurômetro HMV Shimadzu do Laboratório de Materiais e Superfícies (LAMATS) da UFPR (Figura 10).



Figura 10 - Equipamento de Microdureza Vickers

Fonte: Olívio, 2012

3.4.2 Microscopia Ótica (MO)

As imagens para análise microscópica foram obtidas pelo microscópio Olympus BX51, do Laboratório de Materiais e Superfícies (LAMATS) da UFPR, Figura 11.

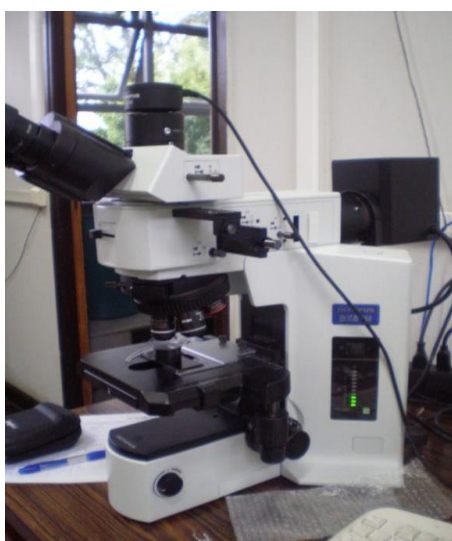


Figura 11 - Microscópio Ótico, UFPR
Fonte: Olívio, 2012

Utilizando esse equipamento foi possível capturar imagens de 20x a 1000x de ampliação, para dessa forma, analisar a microestrutura formada pelo material depositado sobre a superfície do substrato.

3.4.3 Difractometria de Raio-X (DRX)

O equipamento utilizado foi o Shimadzu D7000, com varredura de 0° a 90° e escala de 2θ e velocidade de $1^\circ/\text{min}$, para a prática do ensaio DRX, a análise foi realizada no laboratório de Física da UFPR.

Utilizando a análise DRX foi possível verificar compostos cristalinos presentes nos corpos de prova que caracterizam a presença de intermetálicos, essa caracterização é feita comparando os dados obtidos pela análise feita pelo equipamento com um banco de dados que contém informações cristalográficas básicas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO

4.1.1 Microdureza

Foram realizadas 5 medições de dureza para análise do corpo de prova, os resultados, a média e desvio padrão encontram-se na Tabela 4.

Tabela 3 - Resultados do Ensaio de Microdureza

Ponto	Microdureza HV0,3
1	203
2	147
3	164
4	187
5	154
Média	171
Desvio Padrão	23,42
Metal Base	143

Fonte: Autoria Própria

Não existe nenhuma medição acima de 300 HV, porém, somente com esses dados não é possível afirmar a inexistência de intermetálicos NiAl e Ni₃Al. O desvio padrão neste caso é consideravelmente baixo, pois o revestimento possui homogeneidade total, com o material depositado completamente fundido. Os resultados obtidos apontaram um revestimento com boa resistência mecânica.

4.1.2 Microscopia Ótica

Pela análise microscópica, Figura 12, é possível verificar um revestimento com poucos poros e grande formação de intermetálicos, porém, com algumas inclusões de óxidos presentes no depósito.

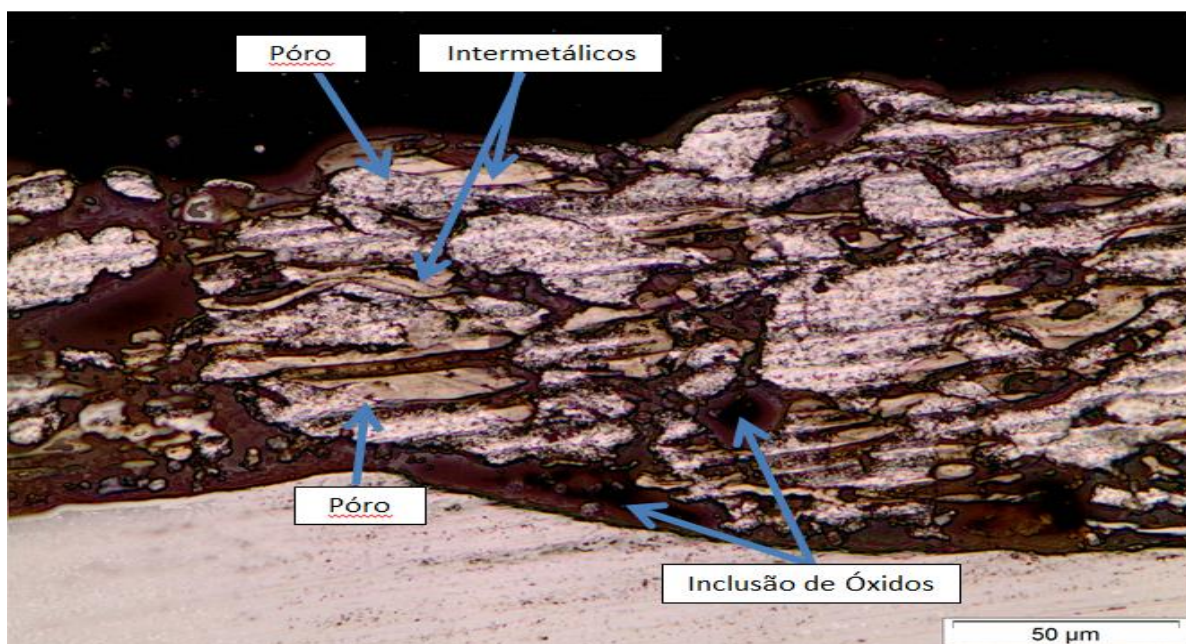


Figura 12 - Imagem da Microscopia Ótica

Fonte: Autoria Própria

As incrustações, Figura 13, foram adquiridas durante o processo de lixamento, onde a baquelite usada para o embutimento se alojou nas irregularidades do revestimento, contaminando o mesmo.

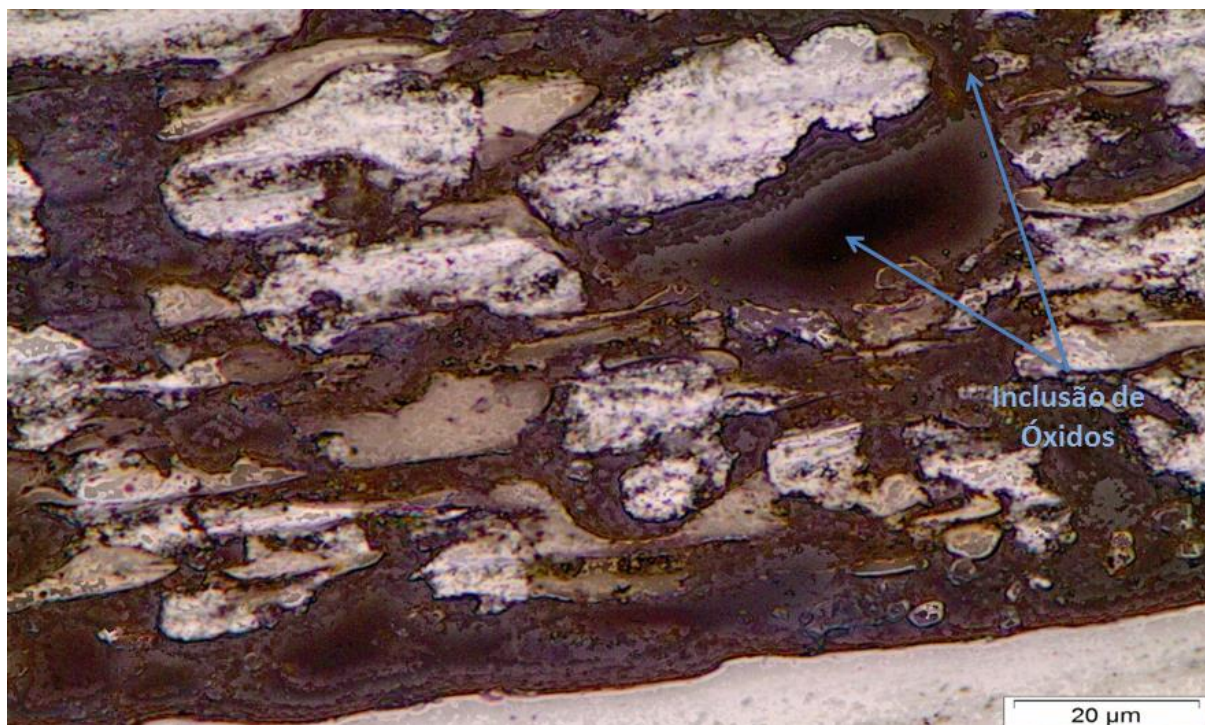


Figura 13 - Presença de Incrustação no Revestimento

Fonte: Autoria Própria

4.1.3 Análise de Fases Observada via DRX

Considerando o resultado da análise, Figura 14 (página 31) da amostra, observa-se a formação dos intermetálicos almejados, NiAl e Ni₃Al, que são intermetálicos de importância significativa devido a suas propriedades de resistência a oxidação a altas temperaturas. Nota-se também a formação de um óxido de NiO, que é um tipo de óxido estável a altas temperaturas.

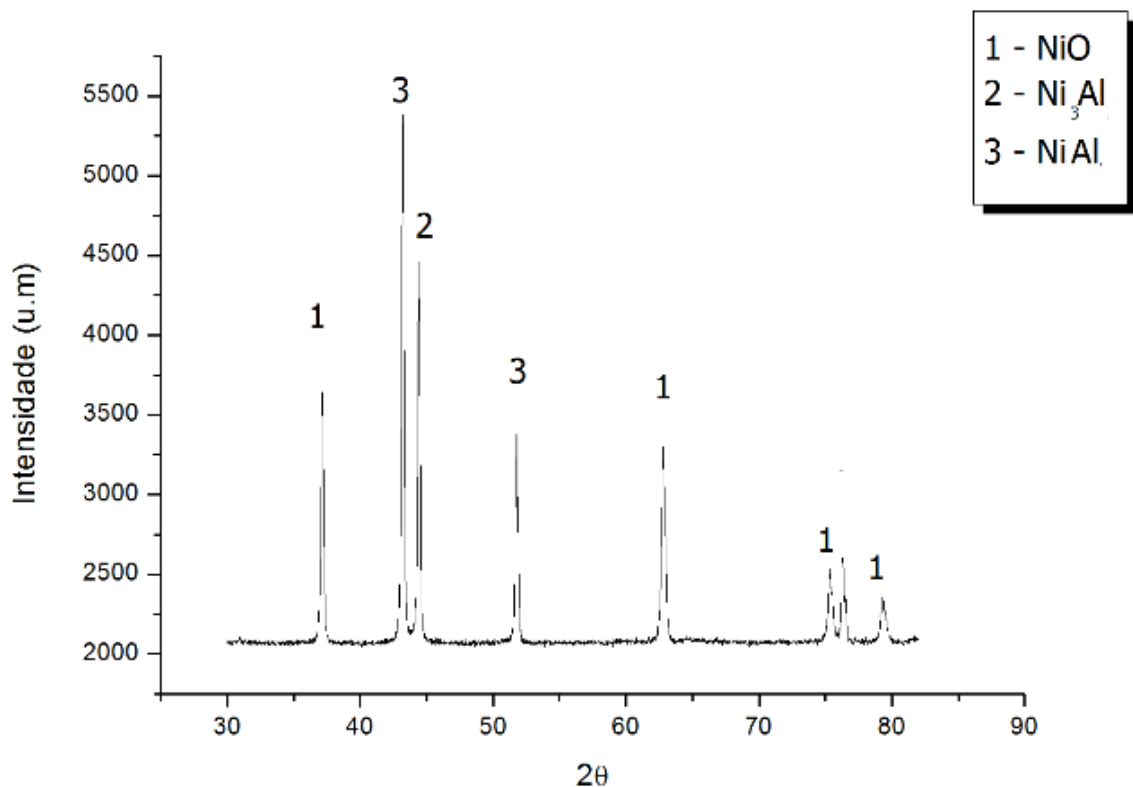


Figura 14 - Difractometria do Revestimento Depositado

Fonte: Autoria Própria

Pela difratometria não foi constatada a presença de NiAl_2O_4 , porém os filmes de óxidos NiAl_2O_4 são muito pequenos, e este equipamento não detecta frações volumétricas menores que 5%, e os picos são confundidos com a radiação de fundo (PADILHA 2011).

5 CONCLUSÃO

Após a análise dos resultados obtidos e comparação com os resultados encontrados nas referências, através dos ensaios de Microdureza Vickers, Análise de Microscopia Ótica e DRX, conclui-se que:

Os resultados obtidos através do ensaio de microdureza apontaram um revestimento homogêneo e com boa resistência mecânica.

Pela análise microscópica, é possível verificar um revestimento com poucos poros e grande formação de intermetálicos, porém com inclusão de óxidos.

Considerando a análise DRX, pode-se confirmar todas as informações obtidas no ensaio e na análise microscópica anterior, onde constata-se a formação dos intermetálicos NiAl e Ni₃Al, e também do óxido NiO, conforme indicava a literatura.

Portanto, conclui-se que o objetivo principal do trabalho foi atingido, que era a formação *in situ* dos intermetálicos NiAl e Ni₃Al, que são resistentes a corrosão e a altas temperaturas, sendo esses, produzidos pelo processo de aspensão térmica chama a pó.

REFERÊNCIAS

ASTM, ASTM E8M – 04. **Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials**. American Society for Testing and Materials, 2004.

BIRKS, N.; MEIER, G.H.; PETTIT, F.S.; *Introduction To The High-Temperature Oxidation Of Metals*. Cambridge University Press. 2nd, 352p, 2006.

CORTÉS P. R.; **Estudo de revestimentos de alumínio depositados por três processos de aspersão térmica para a proteção do aço contra a corrosão marinha**. Florianópolis. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

OLIVIO, E. F. T.; **Avaliação de Ligas de Ni-Al Utilizadas como Revestimento Estáveis a Altas Temperaturas Depositadas por Aspersão Térmica à Chama Pó**. Curitiba. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2011.

PADILHA, H.; **Desenvolvimento “In Situ” de Intermetálicos Ni-Al em Superfícies de Aço Inoxidável Aisi 304 Através da Aplicação por Aspersão Térmica de Mistura de Pós de Níquel e Alumínio**. Curitiba. Tese de Doutorado. Universidade federal do Paraná, 2011.

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.

PAREDES, R.S.C.; AMICO, S.C.; D'OLIVEIRA A.S.; **The Effect Of Roughness And Pre-Heating Of The Substrate On The Morphology Of Aluminium Coatings Deposited By Thermal Spraying.** Surface & Coatings Technology, Vol.200, p.3049–3055, 2006.

PAWLOWSKI, L.; **The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings:** Second Edition Lech, 2008.

SANTOS, A.O.; **Estudo da resistência à corrosão em aço e revestimentos visando à aplicação em hastes de bombeio de petróleo.** Dissertação de Mestrado. Aracaju: Universidade Tiradentes, 2008.

TREVISANI, E. F., PAREDES, R. S. C., AGUIAR, L. A., SUCHARSKI, G. B., PADILHA, H., CARDOZO, M. C., CAPRA, A. R., 2011. **Evaluation of NiAl Alloys Used as Resistant Coating Deposited by Powder Flame Spraying.** 21st Brazilian Congress of Mechanical Engineerin. Natal-RN, Brazil.