

## Editorial

**A METALIZAÇÃO CONTRA O DESGASTE NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO E A INTRODUÇÃO DO ROBÔ NA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE METALIZAÇÃO NO BRASIL (pg. 2)**



**Destaque da edição  
RIJEZA  
UMA EMPRESA  
DE OLHO NO FUTURO (pg. 3)**

**Tema da edição  
A METALIZAÇÃO CONTRA  
O DESGASTE NA INDÚSTRIA  
DO PETRÓLEO (pg. 4/6)**

**Cursos  
O TERCEIRO CURSO  
DE METALIZAÇÃO NA ABM  
JÁ ESTÁ PROGRAMADO (pg. 6)**

**Preparação superficial  
ABRASIVOS & METALIZAÇÃO  
PREPARAÇÃO SUPERFICIAL  
(pg. 7/8)**

## Artigo técnico

**REVESTIMENTOS DEPOSITADOS POR ASPERSÃO TÉRMICA  
HIPERSÔNICA (HVOF) COMO ALTERNATIVA AO CROMO DURO (pg. 9/11)**

## Qualidade

**O PROCESSO PARA ENSAIO DE ABRASIVIDADE TABER,  
SEGUNDO A NORMA ASTM F1978-00 (pg. 11/12)**

Foto gentilmente cedida pela Rijeza Indústria Metalúrgica Ltda.

## EDITORIAL

### A METALIZAÇÃO CONTRA O DESGASTE NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO E A INTRODUÇÃO DO ROBÔ NA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE METALIZAÇÃO NO BRASIL

Eng. Luiz Cláudio O. Couto\*

A última edição do [InforMetalização](http://www.metalizacao.eng.br) de 2.011 está focada na Metalização utilizada na Indústria do Petróleo.

Considerando que dados recentes, indicam que são gastos anualmente mais de U\$ 3 bilhões em manutenção e de U\$ 5 a 7 bilhões, perdidos na inoperância de equipamentos e sistemas, vislumbramos a grande utilidade que os processos de Aspersão Térmica/Metalização podem oferecer ao mercado industrial de forma geral.

Dentre os processos de metalização, um dos mais indicados para este segmento, o processo hipersônico HVOF, é utilizado na aplicação de materiais compósitos como aqueles à base de carbetto de tungstênio, que comprovadamente possuem características tribológicas completamente compatíveis com as situações de trabalho na Indústria do Petróleo.

Em nosso artigo ressaltamos as principais características dos materiais aplicados pelo processo HVOF, favoráveis à sua utilização em regiões que sofrem desgaste em partes e peças utilizadas nos processos de extração, transporte, armazenagem de óleo e gás, bem como do refino do petróleo.

Agradecemos de forma especial aos colaboradores desta edição do [InforMetalização](http://www.metalizacao.eng.br), que como sempre, trazem em seus textos e artigos, informações importantes sobre seus respectivos segmentos de trabalho. Estas colaborações é que fazem o sucesso de cada uma de nossas edições.

Contamos com a colaboração do Sr. Darlan Geremia, Diretor Administrativo/Comercial da Rijeza Indústria Metalúrgica, situada no Estado do Rio Grande do Sul. É com alegria que podemos apresentar a Rijeza como a primeira empresa, a operacionalizar um robô, no setor de prestação de serviço de metalização no Brasil. Embora desde a sua criação, a Rijeza já trabalhasse com sistemas automatizados para aplicação de revestimentos pelo processo de metalização, a instalação do primeiro robô em seu parque industrial, eleva o nível de qualidade de aplicação de revestimentos da empresa, hoje basicamente voltada a atender o segmento de energia.

Agradecemos também ao nosso já antigo colaborador, o Eng. José Carlos Murakami, Diretor da Wheelabrás Ltda., que nos brinda mais uma vez com um artigo de sua autoria, intitulado ABRASIVOS & METALIZAÇÃO. O autor, também professor, nos traz novamente mais um pouco de sua experiência de 35 anos atuando na área de jateamento, nos ajudando a entender um pouco mais do universo da preparação superficial.

Contamos também nesta edição, com a colaboração de um profissional da área acadêmica. O Eng. Antônio Takimi que juntamente com os outros autores, Lisiane Possamai e Carlos Pérez Bergmann, nos apresentaram o artigo técnico intitulado REVESTIMENTOS DEPOSITADOS POR ASPERSÃO TÉRMICA HIPERSÔNICA (HVOF) COMO ALTERNATIVA AO CROMO DURO. Infelizmente, devido à falta de espaço em nosso informativo, não pudemos publicar o texto em seu formato integral, mas apresentamos um resumo/adaptação para esta edição, que temos certeza, será muito bem recebido por todos.

E finalmente, abrindo espaço também para novos talentos, convidamos o formando de 2.012, Julio César Frantz, do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, RS. Ele nos brinda com o texto, parte de seu trabalho de formatura, intitulado O PROCESSO PARA ENSAIO DE ABRASIVIDADE TABER, SEGUNDO A NORMA ASTM F1978-00, que nos pareceu além de interessante, muito pertinente ao assunto desta edição de nosso informativo.

Novamente agradecemos à ABM – Associação Brasileira de Metalurgia Materiais e Mineração, através do Eng. Bruno Luiz Sigolo e dos Srs. Luiz Roberto Hirschheimer e João Carmo Vendramim, pela oportunidade de mais uma vez apresentarmos o nosso curso: METALIZAÇÃO – DEPOSIÇÃO DE MATERIAIS NA FABRICAÇÃO E NA MANUTENÇÃO DE COMPONENTES MECÂNICOS E ESTRUTURAS METÁLICAS, a ser apresentado nos dias 31 de maio e 01 de junho de 2.012, na Sede ABM – SP.

Como pudemos notar, embora temática, esta edição do [InforMetalização](http://www.metalizacao.eng.br) está bem eclética quanto às colaborações recebidas. Pretendemos desta forma, fornecer ao mercado uma visão mais abrangente das soluções propostas pelos processos de metalização ao mercado, com destaque, nesta oportunidade, à Indústria de Petróleo.

Esperamos atender a todos em suas expectativas, e até a nossa próxima edição. Boa leitura!

## RIJEZA UMA EMPRESA DE OLHO NO FUTURO

Darlan Geremia\*

A RIJEZA INDÚSTRIA METALÚRGICA LTDA. foi fundada em 03 de Maio de 2.002 pelos sócios: Ivo Geremia, Leonardo Geremia e Darlan Geremia. A empresa está localizada no município de São Leopoldo, no Rio Grande do Sul. Desde a sua fundação até hoje, a empresa passou por diversas mudanças, que resultaram em seu crescimento no cenário nacional.

O início da empresa foi complexo, pois nenhum dos sócios era detentor do conhecimento da tecnologia de aspersão térmica. A primeira atividade da empresa foi realizar uma parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, visando incorporar o conhecimento técnico necessário para desenvolver a tecnologia. Todos os funcionários da empresa participaram dessa capacitação, totalmente realizada na UFRGS.

A RIJEZA iniciou as suas operações em Abril de 2.004, com um equipamento HVOF totalmente acionado por comando numérico. Mesmo trabalhando com pequenas quantidades de peças, a opção por este tipo de equipamento foi feita devido à qualidade do revestimento produzido. O foco de atuação da RIJEZA, sempre foi a indústria petroquímica, mercado bastante desenvolvido no estado do Rio Grande do Sul, com críticas exigências no que diz respeito aos revestimentos aplicados.

No ano de 2.005 a RIJEZA iniciou o processo de implantação de seu Sistema de Gestão da Qualidade. O objetivo deste processo, era então, manter o foco da empresa na organização e padronização dos trabalhos. Em 2.007 a empresa conquistou a certificação da ISO 9001:2000.

A empresa cresceu, e em 2.008 foi adquirido o segundo equipamento HVOF, também instalado em um sistema com controle numérico computadorizado. O foco da empresa continuou sendo as aplicações especiais no ramo do petróleo e gás.

No ano de 2.009, a RIJEZA realizou mais uma mudança no seu sistema de gestão. A empresa buscava a excelência nos processos de aspersão térmica. Os requisitos da ISO 9000 eram muito bons, mas não suficientes. A RIJEZA incorporou a esses padrões, os requisitos do Prêmio Nacional da Qualidade, que no Rio Grande do Sul são disseminados pelo Programa Gaúcho de Qualidade e Produtividade. A gestão da empresa passou então a ser muito mais participativa, com foco em resultados planejados pela equipe.

O ano de 2.010 foi importante para a RIJEZA. A empresa adquiriu o seu primeiro robô, também o primeiro a ser instalado num prestador de serviços de metalização no Brasil, equipamento que manteve o padrão de qualidade da empresa e ainda aumentou a sua produtividade. A implantação desse equipamento foi bastante complexa por que exigiu novos conhecimentos que tiveram que ser incorporados pelos profissionais da RIJEZA. Algumas adaptações tiveram que ser feitas.



Em 2.011, a RIJEZA recebeu o seu primeiro prêmio do PGQP, a medalha de bronze. É o primeiro prêmio, dentre aqueles oferecidos neste programa, porém a evolução necessária ainda é muito grande.

Atualmente, a estrutura da RIJEZA é tão enxuta quando no início. Conta com uma equipe de 16 pessoas, 2 Robôs, 4 Equipamentos HVOF, 1 Plasma, 1 Arco Elétrico e 2 *Flame Spray*. Dispõe também de um Centro de Pesquisa e Tecnologia e fortes parcerias com Universidades do Rio Grande do Sul e de outros estados.

A RIJEZA é hoje, uma empresa já bastante conhecida no Brasil. Temos certeza que ainda temos muito para oferecer e crescer. A empresa possui muitos projetos para o futuro.

A visão RIJEZA é: ser reconhecida pela confiabilidade, compromisso com os clientes e pela excelência nos processos. Para atingir esses objetivos, os projetos estão extremamente focados na qualificação interna, das pessoas, na gestão participativa e na modernização constante do parque industrial, sempre voltados às aplicações especiais. Esse é o projeto RIJEZA para o futuro!



Darlan Geremia é Diretor Administrativo/Comercial da Rijeza Indústria Metalúrgica Ltda. É formado Técnico em Mecânica de Precisão pelo SENAI - CETEMP de São Leopoldo/RS, Graduado em Administração de Empresas pela UNISINOS/RS e Pós-Graduado em Finanças Empresariais pela mesma Universidade.

## A ASPERSÃO TÉRMICA/METALIZAÇÃO CONTRA O DESGASTE NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

Eng. Luiz Cláudio O. Couto\*

### 1. A Metalização e o combate ao desgaste na Indústria do Petróleo

Os processos de Aspersão Térmica, também conhecidos como Metalização, fornecem, a exemplo do que ocorre em vários outros segmentos industriais, proteção contra desgaste em diversos componentes e estruturas de equipamentos na Indústria do Petróleo.

A meta de nossa Consultoria em Metalização, no setor Petrolífero (Óleo, Gás e Refino), bem como nos demais segmentos industriais, é a constante busca pelo aumento de produtividade levando em conta a ampliação da vida útil dos componentes, a confiabilidade dos revestimentos aplicados pelo processo de Aspersão Térmica/Metalização e a consequente redução das horas de máquina parada.

Estima-se que o setor de Óleo & Gás gaste anualmente mais de U\$ 3 bilhões em manutenção, e que entre U\$ 5 e 7 bilhões sejam perdidos devido à inoperabilidade de equipamentos e sistemas. Estes custos podem ser reduzidos através do desenvolvimento e aplicação de revestimentos aplicados por aspersão térmica para combater, entre outros, processos de degradação como abrasão, erosão e corrosão.

Atualmente, dentre os diversos processos de aspersão térmica disponíveis, aquele que melhor se adapta ao combate do desgaste em suas variadas formas, é o processo hipersônico, também conhecido como HVOF (*High Velocity Oxy-Fuel*). Os revestimentos densos (praticamente isentos de porosidade), aplicados por este processo, principalmente aqueles à base de carbeto de tungstênio, foram desenvolvidos para operar em ambientes críticos onde corrosão, abrasão e erosão ocorrem a altas pressões.

Do universo de tipos de partes, peças e equipamentos que podem ser protegidos por este processo, destacamos alguns, como principais nos processos de extração, transporte, armazenagem de óleo e gás, bem como do refino do petróleo.

### 2. Válvula-esfera/corpo e assentos

Situações críticas de trabalho para válvulas-esfera vão desde extremas temperaturas (próximas a 540°C), até pressões que podem chegar a 20.000 psi. Os anéis de desgaste estão sujeitos além do desgaste e da corrosão, também à erosão e à cavitação.

Mesmo com os avanços alcançados pela engenharia de superfície, técnicas como CVD, PVD e insertos de carbeto, protegem tais componentes, porém, ou são muito onerosas, ou apresentam dificuldades de aplicação devido às suas dimensões ou geometrias.

Outrora os processos de aspersão térmica não eram aceitos em tais situações, principalmente devido à baixa qualidade e alta porosidade das camadas então aplicadas. Como consequência, os revestimentos apresentavam rápida delaminação e baixos coeficientes de coesão e adesão.

Atualmente, porém, processos mais avançados, como o HVOF, utilizando materiais como ligas de cromo-níquel, carbeto de cromo e carbeto de tungstênio em suas múltiplas variações, além de facilitar a aplicação, reduziram de forma drástica o nível de porosidade das camadas aplicadas em peças novas ou recuperadas.

A melhoria da qualidade dos revestimentos, resultante da avançada tecnologia do processo HVOF, tem trazido grandes progressos à indústria petroquímica. Da mesma forma, outros segmentos industriais como o de geração de energia, protegem de forma semelhante turbinas hidráulicas, contra os danos proporcionados pela cavitação.



### 2. Válvula-esfera submarina

Um dos componentes mais críticos na exploração de petróleo é a válvula-esfera submarina. Devido à limitação de profundidade de 250 metros, para a manutenção feita pelos mergulhadores, há necessidade do equipamento subir à superfície para a sua execução.

Levando-se em conta que várias das atuais bacias petrolíferas em exploração no Mar do Norte e no Oceano Atlântico, encontram-se a profundidades superiores a 3.000 metros, torna-se inviável a execução de sua manutenção submersa.

A tais profundidades, pressões superiores a 150 bar são comuns, o que torna insatisfatória a utilização de selagens macias, como a polimérica. Há necessidade, portanto, de uma selagem mais densa como aquela proporcionada pelo carbeto de tungstênio aplicado por HVOF.

Praticamente isenta de porosidades, a camada aplicada por HVOF pode receber ótimos níveis de acabamento, que somados à sua resistência à abrasão, oferece ao conjunto esfera-sede, a vedação ideal aos produtos gasosos em contato, substituindo a utilização de selagem entre ambos.

4. Válvulas-gaveta/corpo e assento - A Aspersão Térmica pode ser utilizada em peças novas ou no recondicionamento das gavetas e das faces do assento, fazendo com que retornem às suas dimensões originais usando revestimentos aplicados por HVOF. A camada de revestimento duro aumenta a sua resistência ao desgaste, assegura a selagem metal-metal e pode também, ao mesmo tempo, protegê-las contra a corrosão.

5. Mandris - Os revestimentos de carbeto aplicados por HVOF resultam em aumento da vida útil de mandris novos ou danificados.

6. Desenvolvimento em ponteiras de *risers* Foram realizados ensaios para avaliar revestimentos aplicados por HVOF em ponteiras, cuja função é conectar os *risers* (tubos rígidos responsáveis pelo transporte da produção) entre si. Utilizadas na exploração de petróleo *offshore*, estas ponteiras são consideradas componentes críticos que sofrem desgaste e corrosão durante as operações de completção e perfuração.

Em sua função básica, as ponteiras devem manter a estanqueidade em testes hidrostáticos sob pressões de até 3.000 psi. Caso ocorra riscamento da ponteira durante um encaixe forçado, pode haver a necessidade da retirada de toda a coluna lançada ao mar, para que seja feita a sua substituição, numa operação cujos custos podem atingir cerca de US\$ 50.000/dia.

Os ensaios levaram em conta dureza, microestrutura e porosidade de alguns revestimentos aplicados por HVOF. Com base nas características mecânicas e resistência à corrosão observadas, o WC-Co-Cr seria o material potencialmente mais indicado para substituir o níquel químico, atualmente utilizado sobre as ponteiras fabricadas em aço AISI 4130. Esta camada catódica de níquel, caso sofra riscamento ou apresente poros passantes, resultará na imediata corrosão do substrato.

Com durezas superiores a 1.000 HV<sub>0,3</sub>, formação de carbonetos mistos, alta densidade de camada e a presença de cromo na sua composição, o estudo concluiu que o WC-Co-Cr aplicado por HVOF é a opção mais recomendada contra a corrosão e o riscamento, ocorrências típicas em ponteiras de *risers*.

7. Ferramentas e outras partes/peças ou equipamentos

Alguns tipos de ferramentas exigem grandes espessuras para resistir a críticas jornadas de trabalho em meios extremamente abrasivos, onde ainda são utilizados os processos de soldagem ou aplicação de pastilhas de carbeto.

Contudo, atualmente algumas aplicações onde a deposição de carbeto de tungstênio em ferramentas já é possível, são realizadas através do processo de aspersão térmica HVOF.

Horas ociosas de ferramentas são eliminadas quando a sua recuperação é realizada em algumas horas, ao invés de semanas, como ocorria anteriormente.

Da mesma maneira, é importante o aumento da vida útil de rotores de motores, obtido quando se consegue evitar o desgaste e a corrosão proporcionados pela lama de perfuração. A deposição através de metalização HVOF reduz o desgaste em campo bem como os custos de partes e peças dos equipamentos, tais como:

- Mandris de rolamento
- Ferramentas de vibração
- Ferramentas de impacto
- Estabilizadores
- Brocas de perfuração
- Brocas de perfuração para tubulação *riser*
- Acoplamentos do embolo da bomba
- Válvulas-gaveta
- Válvulas-esfera e assentos
- Atuadores de válvulas
- Alojamentos
- Linhas de obstrução e bloqueio
- Pistão do BOP (*Basic Oxygen Process*)
- Pistões hidráulicos
- Hastes
- Luvas, hastes, atuadores e rotores da bomba de lama
- Eixos de movimentação



## 8. Bibliografia:

(1) Bodycote Metallurgical Coatings - High Performance HVOF Applied Tungsten Carbide Coatings and Plasma Sprayed Ceramic Coatings  
<http://www.offshore-technology.com/contractors/corrosion/bodycote-coatings/>

(2) HVOF Applications

<http://stellite.com/ProductsServices/Equipment/HVOFApplications/tabid/350/Default.aspx>

(3) DORFMAN, Mitchell R.

Thermal Spray  
Sulzer Metco (US) Inc.  
Westbury, New York

(4) FREIRE, Fabricio 1; BUSCHINELLI, Augusto J. A. 2

Avaliação de Revestimentos Aplicados por Aspersão Térmica para Proteção contra o Desgaste e Corrosão de Ponteiros de Risers de Completação e Perfuração  
1 CENPES/Petrobrás, Ilha do Fundão – Rio de Janeiro, [tite.ufpr@petrobras.com.br](mailto:tite.ufpr@petrobras.com.br)  
2 Universidade Federal de Santa Catarina, Trindade - Florianópolis, [buschi@emc.ufsc.br](mailto:buschi@emc.ufsc.br)

(5) Oil Tool Parts Hardfacing

[http://www.astroalloys.com/oil\\_tool.php](http://www.astroalloys.com/oil_tool.php)

(6) 2012 ITSC First Announcement and Call for Papers

[http://www.die-verbundungs-spezialisten.de/fileadmin/user\\_upload/Aktuell/CETS1201\\_ITSC2012Call\\_FINAL\\_Continuuous\\_LR.pdf](http://www.die-verbundungs-spezialisten.de/fileadmin/user_upload/Aktuell/CETS1201_ITSC2012Call_FINAL_Continuuous_LR.pdf)

(7) Oil & Gas Industry

<http://www.acilimited.co.uk/?i=oilngas>

9. Fotos

Gentilmente cedidas pela Rijeza Indústria Metalúrgica Ltda.



\* O Eng. Luiz Cláudio O. Couto é responsável pela publicação do periódico digital InforMetalização. Engenheiro Metalurgista formado pela FEI-Faculdade de Engenharia Industrial e Publicitário formado pela ESPM-Escola Superior de Propaganda e Marketing.

Atua há mais de 20 anos na área de Engenharia de Superfícies, com

ênfase em Metalização, tendo trabalhado em algumas prestadoras de serviço do segmento, nas áreas de vendas, supervisão de vendas, apoio técnico a vendas, departamento técnico, supervisão técnica, engenharia de desenvolvimento, qualidade, marketing e publicidade industrial. É atualmente consultor em Metalização, Vendas, Propaganda & Marketing e responsável pelos sites:

[www.metalizacao.eng.br](http://www.metalizacao.eng.br)

[www.maisqueneuronio.com.br](http://www.maisqueneuronio.com.br)

E-mail: [metalizacao@metalizacao.eng.br](mailto:metalizacao@metalizacao.eng.br)

## O TERCEIRO CURSO DE METALIZAÇÃO NA ABM JÁ ESTÁ PROGRAMADO

A parceria da Consultoria em Metalização com a ABM – Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, continuará em 2.012.

O nosso curso "METALIZAÇÃO - DEPOSIÇÃO DE MATERIAIS NA FABRICAÇÃO E NA MANUTENÇÃO DE COMPONENTES MECÂNICOS E ESTRUTURAS METÁLICAS PARA PROTEÇÃO CONTRA DESGASTE, CORROSÃO E PARA RECUPERAÇÃO DIMENSIONAL" agora em sua terceira edição, já tem data e local para acontecer. Será na sede da ABM-SP, nos dias 31 de maio e 01 de junho de 2.012.

Nossos agradecimentos ao Eng. Bruno Luiz Sigolo, Gerente de Educação Continuada e Marketing da ABM que continua nos apoiando desde a primeira apresentação do curso, que soube entender a necessidade do mercado em relação à divulgação dos processos de metalização e continua apostando nesta proposta.

Agradecemos também, mais uma vez, aos Srs. Luiz Roberto Hirschheimer e João Carmo Vendramim, Diretor e Vice-diretor, respectivamente, da Divisão Técnica de Tratamento Térmico e Engenharia de Superfície da ABM pelo apoio recebido, bem como de toda a sua equipe, durante os eventos realizados anteriormente.

Aguardamos para esta edição do curso, a participação das diversas empresas que já encaminharam os seus profissionais, além de outras que certamente ainda os encaminharão, para que possam conhecer um pouco mais da tecnologia, equipamentos, materiais, vantagens e aplicações dos diversos processos de Aspersão Térmica/Metalização disponíveis no Mercado Nacional e Mundial.

Para maiores informações, consulte o site da ABM: [www.abmbrasil.com.br](http://www.abmbrasil.com.br) ou através do link: [http://www.abmbrasil.com.br/cursos/cursos\\_de\\_talhes.asp?cursos\\_Cod\\_Curso=1817](http://www.abmbrasil.com.br/cursos/cursos_de_talhes.asp?cursos_Cod_Curso=1817)

## ABRASIVOS & METALIZAÇÃO PREPARAÇÃO SUPERFICIAL

Eng. José Carlos Murakami\*

### 1. Introdução

A excelência nas operações de metalização só ocorre se todos os passos do processo forem executados, obedecendo a rígidos critérios de qualidade, inclusive na preparação da superfície a ser revestida. Através da Wheelabrás Ltda., utilizamos a nossa experiência de 35 anos em processos de preparação de superfícies metálicas através do jateamento abrasivo, voltados a uma infinidade de aplicações, entre outras, a deposição de vários tipos de revestimentos através de diversos processos, inclusive o de Metalização.

### 2. Preparação superficial para metalização

A preparação da superfície para receber a Metalização, através do processo de jateamento abrasivo, é uma operação que exige controles específicos. Difere, portanto de uma simples operação de jateamento abrasivo, onde o objetivo é apenas realizar a limpeza ou a remoção de oxidação ou carepas de laminação. Os aspectos específicos destes controles são:

- Tratamento e Controle do Ar Comprimido
- Controle da Granulometria do Abrasivo
- Rugosidade Superficial durante o Processo
- Qualidade Superficial Visual do Acabamento

### 3. Tratamento e controle do ar comprimido

#### 3.1. Tratamento do ar comprimido

A qualidade do ar comprimido é de suma importância no processo de preparação da superfície metálica que receberá a metalização. Portanto, qualquer indício de contaminação, pode influenciar diretamente no nível de aderência da camada metalizada.

As contaminações mais comuns, que podem ser encontradas no ar comprimido são:

. Água Condensada - Atinge o metal-base na forma de *micro-spray* resultando em *micro-oxidação* instantânea, conhecida como *Fresh Rust*. A *micro-oxidação*, ao atingir o fundo do vale (ou RZ mínimo), dificilmente é removida e pode afetar diretamente a qualidade da superfície preparada, gerando *micro-pontos* de isolamento entre o metal-base e a camada da metalização. Estes *micro-pontos* semi-isolados podem sofrer deslocamentos ao longo do tempo ou durante as operações, surgindo *micro-trincas* ou *micro-áreas* deslocadas, resultando em possíveis retrabalhos.

. Oleosidade - Causa prejuízos diretos na aderência da camada metalizada no metal-base, também contaminando o abrasivo, o que dificulta o seu fluxo no sistema da máquina de jateamento.



Filtro Tipo Coalescente

Recomendação: Instalação de Pré-Filtro e Filtro Posterior do tipo Coalescente, que removem toda a impureza submicra existente no ar, através da centrifugação e filtragem em elementos de borossilicato.

#### 3.2. Controle do ar comprimido

A energia que impulsiona o abrasivo é o ar comprimido e para que possamos manter a qualidade superficial com determinada rugosidade sob controle, há necessidade de manter o ar comprimido ou a sua pressão sob controle. Recomenda-se utilizar manômetros eletrônicos, que compensam a pressão na entrada da máquina quando ela oscila, o que é normal, mantendo a pressão de trabalho constante e sob controle.



Manômetro Eletrônico em operação que exige rigoroso controle da rugosidade superficial

#### 4. Controle de granulometria do abrasivo

O abrasivo utilizado no processo de preparação de superfícies para metalização deve ser de excelente procedência para atender às especificações do processo, e durante o processo, deve sofrer um controle de granulometria continuado para garantir uniformidade da rugosidade superficial especificada. A rugosidade superficial é definida basicamente pela pressão de trabalho, granulometria do abrasivo e a distância entre o bico do jato e o metal-base.

Os fornecedores de abrasivo definem as granulometrias dentro de faixas comerciais, o que por vezes não atende às especificações do processo. Lembramos ainda que o abrasivo quebra-se ou particula-se durante a operação de jateamento, resultando em grandes variações dos parâmetros da rugosidade superficial, o que não atende a alguns processos específicos.

Para manter uma determinada faixa granulométrica durante o processo, é importante e necessário que a máquina de jateamento esteja equipada com uma peneira classificadora de granulometria. Isto mantém o abrasivo em constante classificação e dentro da faixa granulométrica pré-determinada, em conformidade com o processo.

Geralmente as peneiras classificadoras possuem três *decks*, ou telas, sendo que na tela intermediária é retirado o abrasivo de granulometria desejada, descartando-o das demais telas.

#### 5. Rugosidade superficial

A rugosidade superficial é definida pela necessidade e especificação do processo de metalização. O seu mensuramento é realizado da mesma forma que mensuramos a rugosidade superficial de peças metálicas usinadas. A diferença é que o seu valor geralmente é bem superior, quando comparado àqueles de peças usinadas.

O fator importante, além da uniformidade, é a altura máxima da rugosidade ou pico máximo Rz.

Há diversos modelos de Rugosímetros, como o de Superfície, Portátil e de Contato, este último, o mais tradicionalmente utilizado na indústria.



Rugosímetro de Superfície



Rugosímetro Portátil



Rugosímetro de Contato

## 6. Qualidade superficial visual

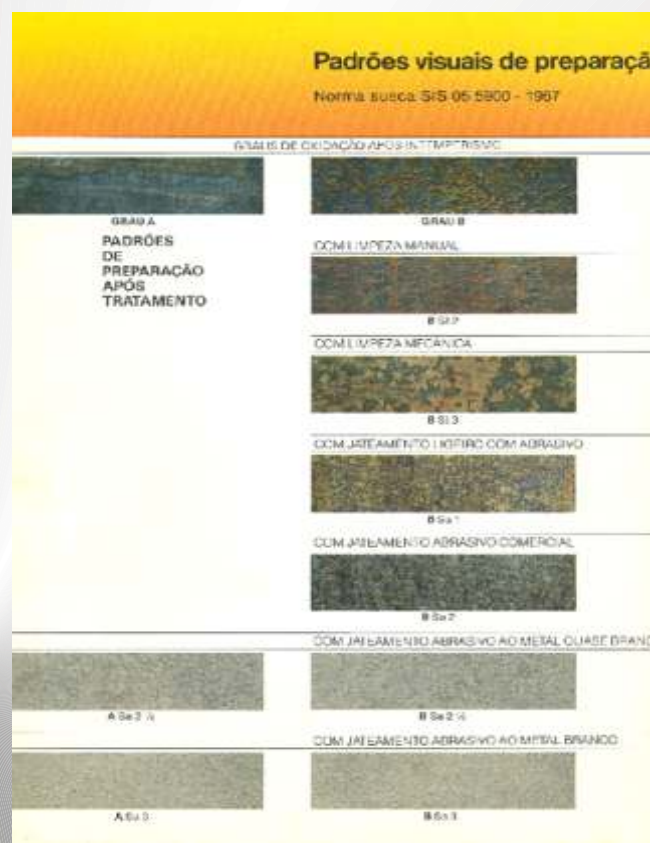
A qualidade superficial final é de suma importância para definirmos as características de cobertura e saturação do processo. No caso de preparação superficial para metalização, a qualidade pode ser ao metal Quase Branco (Grau A Sa 2 ½) ou ao Metal Branco (Grau A Sa 3), dependendo do material e processo a ser utilizado. Dentre as normas existentes para preparação da superfície, a mais usual no Brasil é a Sueca Swedish Standards Institution (SIS 05 5900).

Ao observarmos a norma, verificamos que a letra maiúscula que antecede a especificação define a qualidade superficial do metal base.

Letra A = Grau A: Qualidade de Usina-Chapa e perfil, laminada a quente, sem oxidação.

Letra B = Grau B: Qualidade de Usina-Chapa e perfil, laminada a quente, com pouca oxidação.

Importante: Ao citarmos e utilizarmos a Norma SIS 05 5900 no processo de jateamento, há necessidade da obtenção da Norma Original, para que ambos, o operador e o inspetor de qualidade, possam visualizar o padrão e o grau do acabamento superficial obtido. Lembramos que esta qualidade visual não é mensurável e sim comparável.



A imagem parcial da Norma SIS 05 – 5900, mostrando claramente a qualidade superficial visual

A melhor forma de visualizar e controlar a qualidade superficial visual é utilizar uma lupa com diâmetro de 50 mm com amplitude de 10X.



\* O Eng. José Carlos Murakami é formado em Engenharia Mecânica e Pós-Graduado Lato Sensu em Processo de Produção pela Universidade Braz Cubas. Ex-professor Universitário e Palestrante com foco na introdução e desenvolvimento de novas tecnologias para o setor de tratamento de superfícies em geral.

É Diretor Geral da Empresa WHEELABRAS Comércio e Serviços Ltda.

E-mail: [murakami@wheelabras.com.br](mailto:murakami@wheelabras.com.br)

Site: [www.wheelabras.com.br](http://www.wheelabras.com.br)



## REVESTIMENTOS DEPOSITADOS POR ASPERSÃO TÉRMICA HIPERSÔNICA (HVOF) COMO ALTERNATIVA AO CROMO DURO (Resumo/Adaptação)

Autoria: Antônio Takimi, Lisiane Possamai e Carlos Pérez Bergmann\*

Resumo e adaptação: Eng. Luiz Cláudio O. Couto especialmente para o InforMetalização

### 1. Introdução

A geração de efluentes líquido e gasoso contendo cromo hexavalente ( $Cr^{+6}$ ), que necessitam de tratamento físico-químico para descarte e grande consumo de energia elétrica durante longos períodos de aplicação, levou à busca de alternativas em relação ao cromo duro eletrodepositado.

O cromo duro é utilizado há mais de 70 anos na indústria, porém estudos médicos indicam a sua ação carcinogênica através da inalação de névoas de cromo hexavalente. Devido aos limites de  $0,5\mu\text{g}/\text{m}^3$  de exposição impostos pelos países desenvolvidos e aos altos custos para redução das emissões gasosas e de efluentes contendo cromo hexavalente, este processo torna-se cada dia mais inviável.

Embora o cromo duro eletrodepositado, ainda seja muito utilizado na indústria para proteção de componentes mecânicos contra a corrosão, devido à sua elevada dureza e inércia química, já estão disponíveis no mercado, algumas alternativas, entre elas revestimentos compostos de WC-12Co, WC-20Cr-7Ni,  $Cr_2C_3$ -25NiCr e ligas metálicas como Ni-50Cr e NiCrBSiFeW, aplicados pelo processo de aspersão térmica hipersônica HVOF (*High Velocity Oxy-Fuel Flame*).

A substituição do cromo duro eletrodepositado pelos revestimentos aplicados por HVOF é resultado de seu vasto emprego, entre outras, na indústria aeronáutica, aeroespacial e petroquímica, devido às excelentes propriedades de resistência ao desgaste, corrosão, adesão ao substrato e reduzidos níveis de porosidade, quando comparado aos processos de aspersão térmica convencionais. Mesmo ainda de custo elevado no Brasil, some-se algumas vantagens ao processo HVOF, que compensam tal defasagem, como por exemplo sua elevada taxa de deposição e acabamento superficial de compostos como WC-12%Co e WC-17%Co, superiores ao cromo duro, a não necessidade da execução do tratamento de desidrogenação, aumento da vida em fadiga, a sua longa vida útil (podendo chegar a 5 vezes a durabilidade do cromo duro), redução na quantidade de paradas necessárias à manutenção e o menor tempo de aplicação.

### 2. Objetivo

Este trabalho, leva em conta a análise e comparação entre revestimentos térmicamente aspergidos e o cromo eletrodepositado, em situações de corrosão (câmara de névoa salina segundo a ASTM B-117) e desgaste adesivo sem lubrificante (segundo a ASTM G67). Análises de microdureza e microscopia ótica foram utilizadas para caracterização e análise dos resultados

### 3. Materiais e métodos

Os revestimentos da Tabela 1 foram depositados através de equipamento Praxair-TAFA JP-5000 sobre substratos de aço AISI 1010, nas dimensões de  $10 \times 15 \times 0,2$  cm. Sua preparação foi realizada através de jateamento abrasivo, com granalha de  $Al_2O_3$  eletrofundida, grão 120, atingindo a rugosidade final de  $Ra 5\mu\text{m}$ .

REVESTIMENTO	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	FABRICANTE
A	88WC-12Co	H.C. Stark
B	75Cr2C3-20Ni-5Cr	Praxair-TAFA
C	73WC-20Cr-7Ni	Praxair-TAFA
D	Ni15Cr17W3.5Fe3B4Si0.8C	Wall-Colmonoy
E	Ni-50Cr	Praxair-TAFA

Tabela 1 – Revestimentos Utilizados Para Avaliação

Já as amostras revestidas com cromo duro foram fornecidas pela Metalcrom Ltda, com espessura aproximada de  $100\mu\text{m}$ . Sua preparação superficial foi realizada através de jateamento abrasivo, com granalha de  $Al_2O_3$  eletrofundida, grão 220 sem a execução do tratamento térmico de desidrogenação.

- Caracterização dos revestimentos: através da análise metalográfica da seção transversal em microscópio ótico Olympus BX51M. com câmera digital acoplada.
- Medidas de microdureza Vickers: realizadas com um microdurômetro Buehler Micromet 2001, carga de indentação de 300g, considerando o valor de dureza igual ao valor médio de 10 medidas.
- Rugosímetro: portátil Mytutoyo SurfTest 211.
- Carga para o teste de desgaste adesivo e sua duração: 85 N durante 30 minutos.
- Contraparte do par tribológico: aço AISI 1020.
- Espessura de camada média para teste em câmara de névoa salina:  $100\mu\text{m}$ .
- Critério de avaliação adotado: tempo necessário para o surgimento dos primeiros sinais de corrosão do substrato (corrosão vermelha).
- Acabamento das camadas de revestimento: testados sem a realização de processos de acabamento superficial.
- Resultados da análise da seção transversal e microdureza: utilizados para a avaliação dos resultados de desgaste adesivo e corrosão.

### 3.1. Aspectos das camadas ensaiadas (micrografias ampliadas 200x)



Fig.2 - Cromo duro



Fig.3 - Revestimento A B



Fig.4 - Revestimento B B



Fig.5 - Revestimento C B



Fig.6 - Revestimento D B



Fig.7 - Revestimento E B

### 3.2. Microdurezas dos revestimentos avaliados

REVESTIMENTO	MICRODUREZA (HV <sub>300</sub> )
A	1389
B	1058
C	1313
D	717
E	300
Cromo Duro	780

Tabela 2 - Microdurezas Vickers dos Revestimentos

## 4. Resultados e discussões

### 4.1. Desgaste adesivo

Na Tabela 3, nos resultados obtidos através do ensaio de desgaste adesivo, o revestimento E e a amostra de cromo duro apresentaram um desgaste acentuado, tendo a marca deixada pelo desgaste uma profundidade superior à espessura dos revestimentos.

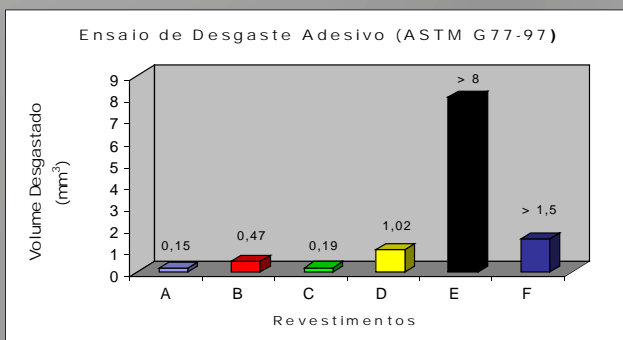


Tabela 3 - Resultados do Ensaio de Desgaste Adesivo

\*O desempenho superior dos revestimentos depositados por aspersão térmica frente ao cromo

duro pode ser visto de maneira simplificada em termos dos valores de microdureza. Tipicamente, a dureza pode ser relacionada qualitativamente com a resistência ao desgaste adesivo de metais através da relação  $d \propto \frac{1}{H}$ , onde  $d$  é desgaste e  $H$  é a dureza do material. Neste caso, a dureza do material é empregada como um indicador da tensão de ruptura do material e do seu módulo de cisalhamento, já que o mecanismo de desgaste adesivo envolve a quebra de micro-junções formadas devido à interação entre as duas superfícies em movimento relativo.

Aliados a este fato, o aumento da dureza está relacionado ao aumento do módulo de cisalhamento, o que se traduz em menores coeficientes de atrito e menor desgaste [8]. Diversos outros fatores influenciam o desempenho dos metais em desgaste adesivo, como a presença de lubrificantes, acabamento superficial, a natureza química da contraparte, a carga normal utilizada, mas a relação é válida para a maioria dos casos [9].

O desempenho superior do revestimento D, em relação ao cromo duro, não pode ser explicado de maneira simplificada, sendo necessários mais testes para elucidar os mecanismos envolvidos no desgaste do par revestimento E contra aço AISI 1020".

### 4.2. Corrosão acelerada em névoa salina

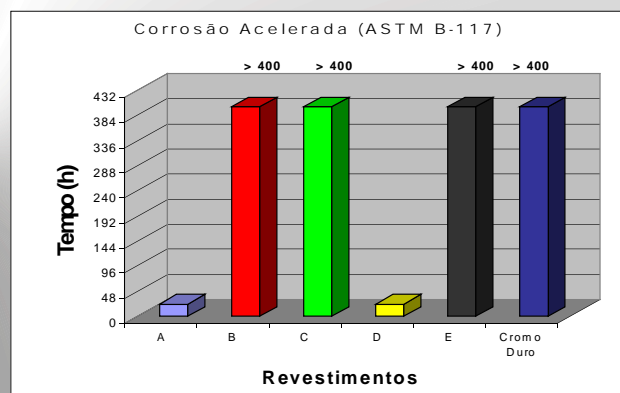


Figura 4 - Desempenho dos Revestimentos Avaliados em Névoa Salina

Os revestimentos depositados por aspersão térmica HVOF possuem porosidade extremamente baixa, como pode ser visto nas Figuras de 3 à 7, e de acordo com o material e os parâmetros utilizados, podem ser considerados impermeáveis.

Apenas os revestimentos A e D apresentaram manchas de coloração azulada e pontos de corrosão nas primeiras 24 horas de ensaio, muito provavelmente devido à falta de homogeneidade da espessura do revestimento aplicado manualmente. Os revestimentos restantes, não apresentaram qualquer alteração no seu aspecto visual e nem sinais de corrosão vermelha após 400 horas de ensaio, o que indica a excelente capacidade de proteção fornecida ao substrato.

#### 4. Conclusões

A microestrutura dos revestimentos depositados através do processo de aspersão térmica HVOF, apresenta-se bastante homogênea, com níveis de porosidade extremamente baixos, reduzido nível de óxidos, ausência de defeitos na interface, e com exceção do revestimento E (voltado à proteção contra a corrosão), com valores de microdureza superiores à camada de cromo duro.

Os revestimentos aplicados pelo processo de aspersão térmica HVOF, apresentaram desempenhos, levando em conta o desgaste adesivo, consideravelmente superiores ao do cromo duro, como esperado, devido aos seus valores de microdureza. Contudo, mesmo o revestimento D, com valor de dureza próximo ao do cromo duro, apresentou desempenho superior ao revestimento eletrodepositado.

A capacidade de proteção ao substrato das camadas aplicadas pelo processo de aspersão térmica HVOF, mostrou ser excelente, apresentando desempenho em câmara de névoa salina, semelhante ao do revestimento de cromo duro eletrodepositado.

#### 5. Bibliografia

- \* TAKIMI, Antônio (1); POSSAMAI, Lisiane (2); BERGMANN, Carlos Pérez (1)  
Revestimentos Depositados por Aspersão Térmica Hipersônica (HVOF) como Alternativa ao Cromo Duro (texto original)  
(1) Laboratório de Materiais Cerâmicos – Universidade Federal do Rio Grande Do Sul  
(2) MWM International Motores

## O PROCESSO PARA ENSAIO DE ABRASIVIDADE TABER, SEGUNDO A NORMA ASTM F1978-00

Júlio César Frantz\*

O método de ensaio de Abrasividade Taber, fornece meios para avaliar a resistência das partículas de revestimentos depositados por aspersão térmica. Pode ser utilizado para avaliar os efeitos de variáveis de processo de aspersão, tais como: preparação do substrato antes da aplicação do revestimento, texturas de superfícies, características mecânicas do revestimento e tratamento nos revestimentos.

O equipamento utilizado é o Abrasímetro Taber, constituído de duas rodas abrasivas calibradas, que através de movimentos de rotação das rodas e de um disco, geram uma combinação de rotação e atrito, causando o desgaste na superfície do revestimento. O procedimento do teste é totalmente normalizado pela ASTM F1978-00, *Standard Test Method for Measuring Abrasion Resistance of Metallic Thermal Spray Coatings by Using the Taber Abraser*.



Abrasímetro Taber

Os corpos de prova são de formato padronizado, devem possuir 100 mm de diâmetro e o mínimo de 1,6 mm de espessura, para evitar o empenamento na aplicação do revestimento aspergido termicamente. Para fixação do corpo de prova na base giratória do equipamento de abrasividade Taber, é necessário realizar um furo de 6,4 mm de diâmetro no centro do corpo de prova. O revestimento pode ser aplicado de uma maneira representativa nos corpos de prova, observando-se apenas a necessidade de posterior preparação superficial através do processo de preparação metalográfica e operações de lixamento.

Os materiais e equipamentos utilizados no teste são: Abrasímetro Taber modelo 5150; Duas rodas Calibradas H22 Taber, ou equivalente, com cabeça abrasiva de 250 g sem pesos adicionais; Unidade de Vácuo; Roda de reafinamento Taber modelo 250; Máquina de limpeza Ultra-sônica; Forno de secagem, capacidade de operação 100°C ± 2°C; Balança analítica, precisão de 0,0001 g; Corpos de Prova de acordo com a norma ASTM F1978-00.

Inicia-se o ensaio de abrasividade separando-se um corpo de prova, denominado *blank*, com o objetivo de determinar o peso perdido na limpeza ultra-sônica. O corpo de prova *blank* é pesado por três vezes, realizada a média das três medições e a sua anotação em uma tabela. A limpeza ultra-sônica é executada durante 10 minutos, e em seguida promovida a secagem dos corpos de prova na estufa à temperatura de 100°C, também durante 10 minutos.

Os corpos de prova são então resfriados à temperatura ambiente, pesados por três vezes e calculada a média dos pesos. Este procedimento é repetido, até que a mesma massa dos corpos de prova *blank* seja anotada por duas limpezas consecutivas. O número total de limpezas ultra-sônicas é anotado para que se possa determinar o tempo de limpeza necessário para a obtenção da massa estável dos corpos de prova, calculada pela Equação 1.

$$T_{\text{Metaestável}} = 10 \times (n-1) \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:  $n$  = número total de limpezas determinado



Corpos de prova após ensaio de abrasão Taber

Em seguida, continuando os ensaios, realiza-se a limpeza dos corpos de prova na máquina de limpeza ultra-sônica durante o tempo determinado na Equação 1. Depois, é realizada a secagem dos corpos de prova em uma estufa a 100°C durante 10 minutos. Realiza-se a pesagem dos corpos de prova à temperatura ambiente, anotando-se os valores em uma tabela.



Equipamento de reafinamento Taber

Após a limpeza ultra-sônica, os corpos de prova podem ser montados sobre o disco do abrasímetro Taber, com o revestimento para o lado de cima. As rodas abrasivas são montadas de acordo com a indicação "*Left*", esquerda e "*Right*", direita. Caso durante o teste, o diâmetro das rodas abrasivas sofra redução, além da etiqueta indicativa, os corpos de prova devem ser descartados, e um novo teste iniciado. As rodas abrasivas são baixadas lentamente sobre a superfície do revestimento, iniciando-se em seguida o vácuo.

O abrasímetro Taber é regulado para o número de ciclos apropriados (2, 5, 10 ou 100). O vácuo é regulado, pressionando a chave "*vacuum suction level*", inserindo o valor 100. O tempo de início do vácuo é regulado para 5 segundos, permitindo que o vácuo alcance a força máxima antes do botão "*start*" ser pressionado.

Após o teste, são realizadas as operações de limpeza, secagem e resfriamento, pesando as amostras na mesma sequência citada anteriormente.

A cada intervalo de teste é necessário realizar o reafinamento das rodas abrasivas, utilizando-se o equipamento de reafinamento Taber modelo 250. Os testes devem seguir até a conclusão de todos os corpos de prova. Outro tipo de corpo de prova não deve ser testado utilizando-se a mesma roda abrasiva.

O resultado final do teste é a diferença de massa calculada através da Equação 2.

$$W_n = W_o - W_n \quad (\text{Equação 2})$$

onde:

$n$  = número de ciclos acumulados;

$W_n$  = massa perdida para o ciclo  $n$ ;

$W_o$  = média das três massas calculadas das amostras limpas;

$W_n$  = media das três massas calculadas depois dos ciclos

Assim a taxa de desgaste em  $\text{mm}^3$  será a razão do volume perdido pela densidade do material do revestimento.

$$\frac{w_n (\text{g})}{\text{Densidade} (\text{g}/\text{cm}^3)} \times 1000 = \text{Perda de Volume} (\text{mm}^3)$$

O ensaio de abrasão é realizado de modo comparativo, por exemplo, para determinar a taxa de desgaste de um revestimento de aço inoxidável, devemos compará-la a uma peça fabricada em Aço SAE 1010-1020, desta forma avaliando a resistência a abrasão dos dois tipos de materiais. Este teste, inclusive, pode auxiliar na determinação da vida útil da peça em situações de trabalho.

Júlio César Frantz é formando do Curso de Engenharia Mecânica (2.012) da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, RS.



Iniciou suas atividades profissionais nos laboratórios do Curso de Engenharia Mecânica e Produção da UNISC. Atualmente é *Trainee* na área de Manutenção Industrial de uma Indústria de Bebidas no município de Santa Maria, RS.