Congresso Internacional de Pintura e Revestimentos Anticorrosivos

A Metalização por Aspersão Térmica como Técnica de Proteção Anticorrosiva

Eng° Luiz Cláudio de Oliveira Couto

www.metalizacao.eng.br

A Metalização por Aspersão Térmica como Técnica de Proteção Anticorrosiva

1. Metalização por Aspersão Térmica - Um Pouco de sua História
2. Metalização - O Processo
3. Formação da Camada Metalizada
4. Equipamentos de Metalização
5. Metalização como Solução para:
6. Aplicações
7. Metalização como Solução Anticorrosiva
8. Metalização Anticorrosiva - Redução de Custos e Aumento de Vida Útil
9. Metalização anticorrosiva - Aplicações Específicas
10. Bibliografia

1. Metalização por Aspersão Térmica - Um Pouco de sua História

- 988 a.C.: Encontradas referências históricas da utilização dos primeiros revestimentos metálicos decorativos. Folhas de ouro coladas a outras superfícies.

- 1896: Engenheiro suiço de Zurique, Max Ulrich Schoop (1870/1956) e sua equipe pesquisavam um tipo de revestimento que não fosse aplicado por imersão ou adesivo.

- Desenvolvimento: Melhorias contínuas de processos e materiais por parte de Schoop e sua equipe. Início da comercialização na Alemanha e França e em 1917 nos EUA com utilização em grande escala. Várias patentes até a década de 1950.

1. Metalização por Aspersão Térmica - Um Pouco de sua História

- **Grandes aplicações:**
  - Ferrovias, tanques de navios da marinha, barcaças de carvão e comportas de emergência do Canal do Panamá.
  - II Grande Guerra Mundial - Metalização recebe maior impulso.
    Com falta de matéria-prima, peças são recuperadas com tempo reduzido.
  - Guerra Fria EUA x URSS (1945-1991) - Novos materiais e processos são desenvolvidos como resultado da corrida aeroespacial.

1. Metalização por Aspersão Térmica - Um Pouco de sua História

- **Novas invenções**:
  - HVOF (1958)
  - Detonação (d-Gun ®) (1960)
  - Plasma conhecido e utilizado (1960/1970)
  - Plasma à Vácuo (VPS) “quebrou” as indústrias de revestimento da época e fez da aspersão térmica a mais importante indústria de revestimentos do mundo (1973).

1. Metalização por Aspersão Térmica - Um Pouco de sua História

- **Novas invenções:**
  - HVOF ampla utilização, velocidades de aspersão: 200 m/s a 1000 m/s (década de 1980).
  - Melhoria de processos/novos materiais: beneficiamento de elementos de máquinas e equipamentos.
  - Plasma: materiais com pontos de fusão > 2760°C (últimos 70 anos).

1. Metalização por Aspersão Térmica - Um Pouco de sua História

- **Novas invenções:**
  - Materiais aplicados por HVOF substituem o cromo duro.
  - Aplicados também metal-plástico, metal-grafite, cermets, etc. e nanomateriais.
  - Automação-Robôs: Camadas uniformes ou com variações pré-determinadas.

2. Metalização - O Processo

- **Definição - Aspersão Térmica:**
  - "Grupo de processos nos quais se divide finamente materiais metálicos e não metálicos que são depositados em uma condição fundida ou semi-fundida, sobre um substrato preparado para formar um depósito aspergido"

(AWS - American Welding Society)

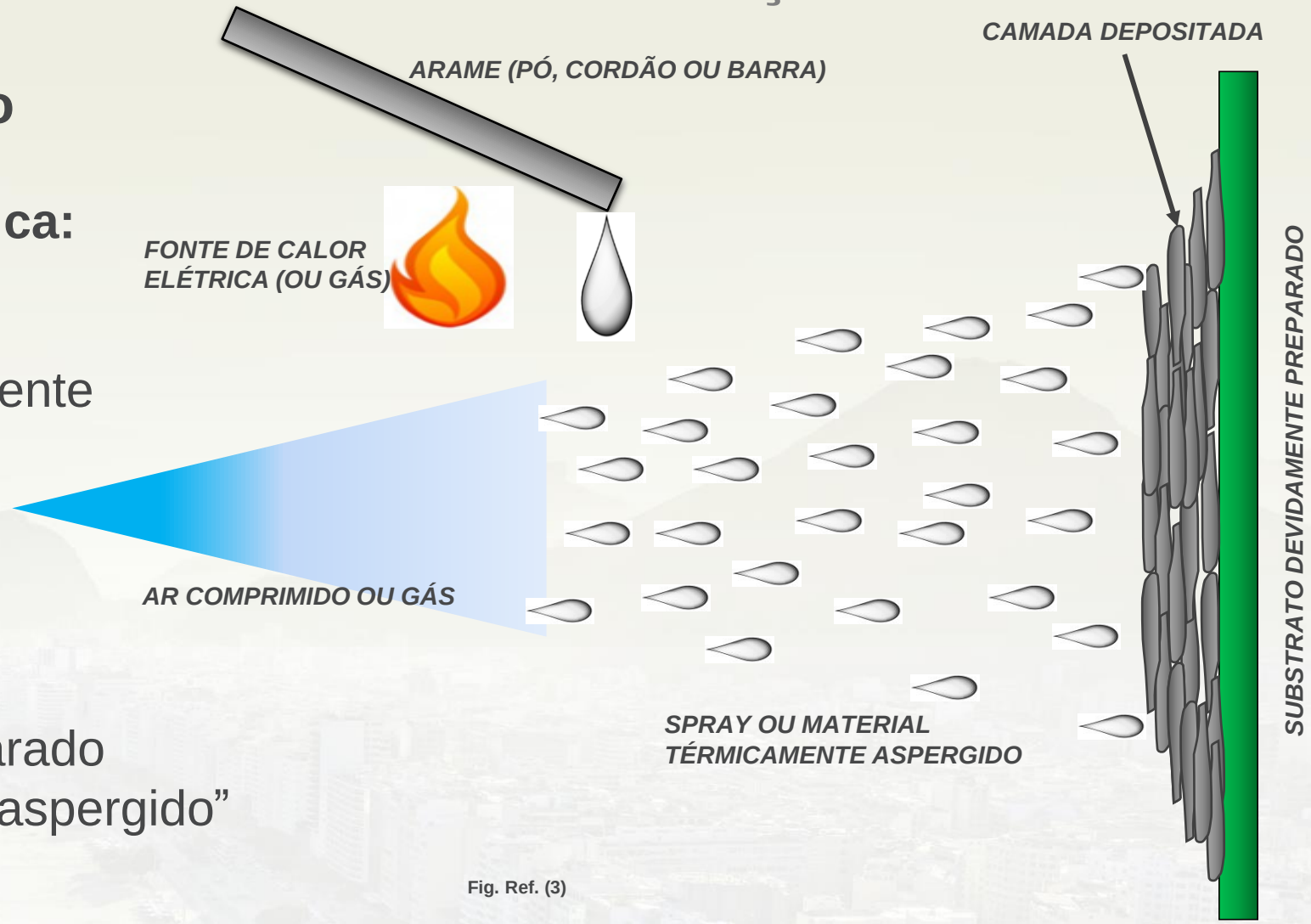


Fig. Ref. (3)

2. Metalização - O Processo

- **Preparação Superficial - Pré Limpeza**
  - Os tipos de pré-limpeza que removem oxidação e demais resíduos aderidos à superfície que prejudicam a aderência da camada, são: (1/2)
    - Aquecimento em forno ou maçarico: Remove resíduos oleosos de porosidades.
    - Limpeza ultrasônica: Remove contaminantes de espaços estreitos de difícil acesso.
    - Escovamento: Escovas de latão ou aço são utilizadas para limpeza de pequenas áreas.

2. Metalização - O Processo

- **Preparação Superficial - Pré Limpeza**
  - Os tipos de pré-limpeza que removem oxidação e demais resíduos aderidos à superfície que prejudicam a aderência da camada, são: (2/2)
    - Desengraxe: Utilizam-se solventes para a remoção de resíduos oleosos. Superfícies contaminadas com hidrocarbonetos recebem também lavagem com água quente, detergente e secagem posterior.
    - Decapagem ácida: Lavagem ou imersão das peças para remoção de resíduos de revestimentos antigos, cascas de laminação e produtos de corrosão, seguida de neutralização.

2. Metalização - O Processo

- **Preparação Superficial - Limpeza Final e Ativação**
  - Os tipos de limpeza final que criam o perfil adequado e ativam a superfície onde a camada será aplicada, são:
    - Jateamento abrasivo: Utilizado nas fases de pré-limpeza, limpeza final e ativação das forças de Van der Waals.
    - Limpeza final para revestimentos anticorrosivos: Fornece o perfil adequado para a aderência de camadas de baixa espessura.
    - Limpeza final para revestimentos técnicos: Remove os resíduos de usinagem/retífica e fornece o perfil adequado ao fundo da câmara.

2. Metalização - O Processo

- **Preparação Superficial - Ativação e Pré-aquecimento**
  - Ativação das Forças de Van der Waals:
    - O impacto abrasivo/superfície ativa a energia da superfície e facilita a interação camada/substrato.
  - Pré-aquecimento
    - Elimina umidade do substrato, algum resíduo de oleosidade e reduz o choque térmico entre a partícula e o metal-base (80°C a 150°C).

2. Metalização - O Processo

- Preparação Superficial - Pré-limpeza, Limpeza Final, Ativação e Pré-aquecimento

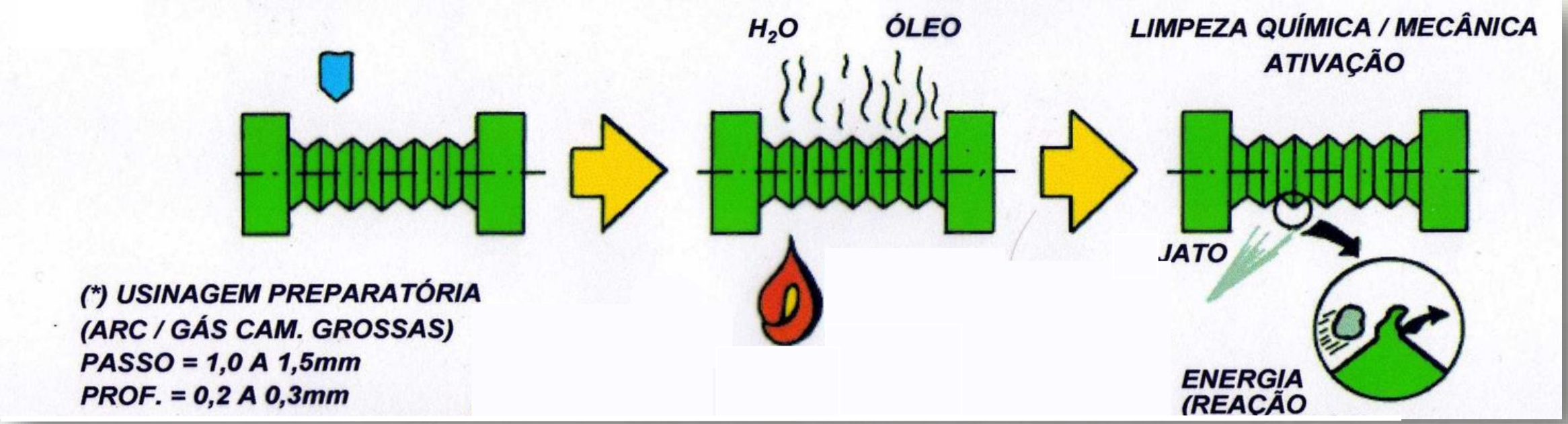
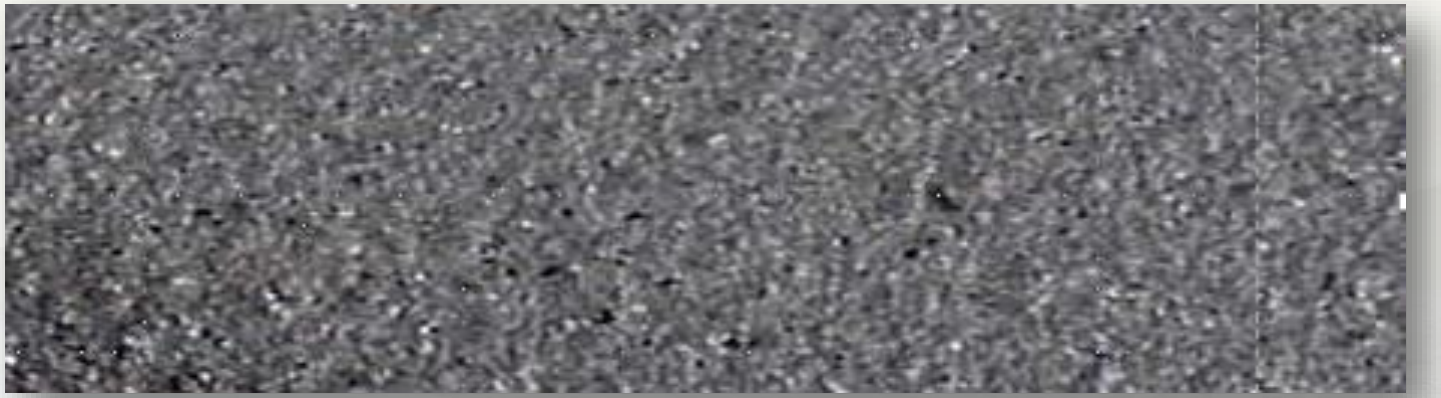
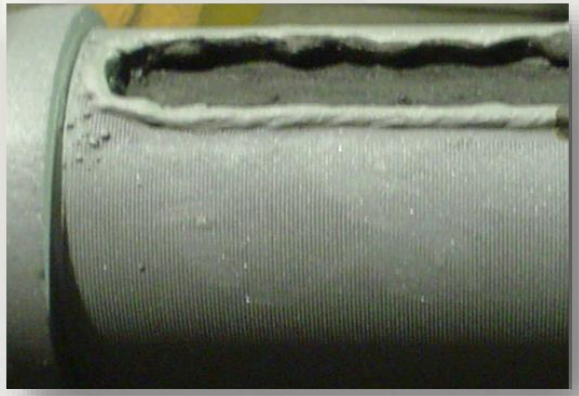


Fig. Ref. (3)

2. Metalização - O Processo

- Preparação Superficial - Pré-limpeza, Limpeza Final, Ativação e Pré-aquecimento





Fotos. Ref. (3)

2. Metalização - O Processo

- **Auto-ligante**
  - Trata-se de uma liga metálica de reação exotérmica (geralmente aluminito de níquel).
  - Apresenta ao mesmo tempo, afinidade com a base e com o revestimento.
  - Ocorre
    - Micro-solda (ancoragem metalúrgica, ainda que mínima).
    - Difusão (ancoragem química).

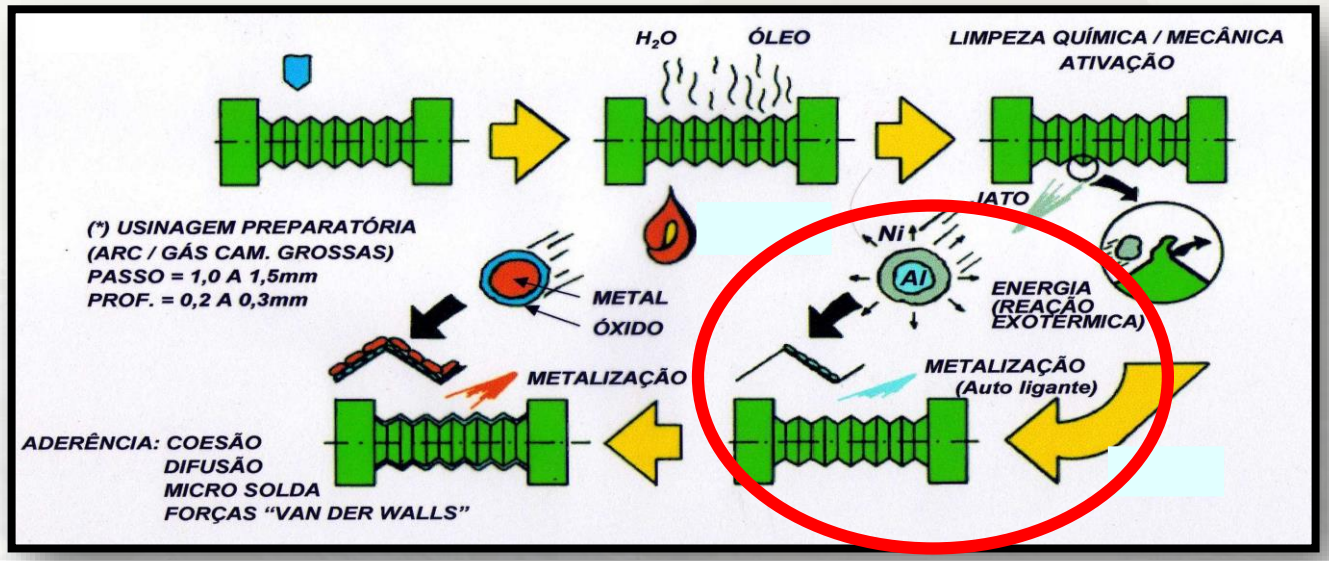


Fig. Ref. (3)

2. Metalização - O Processo

- **Material de deposição**
  - Aderência da camada é garantida pela:
    - Ancoragem mecânica
    - Ancoragem metalúrgica
    - Ancoragem química
    - Ativação das Forças de Van der Waals
  - Utilização do equipamento adequado.

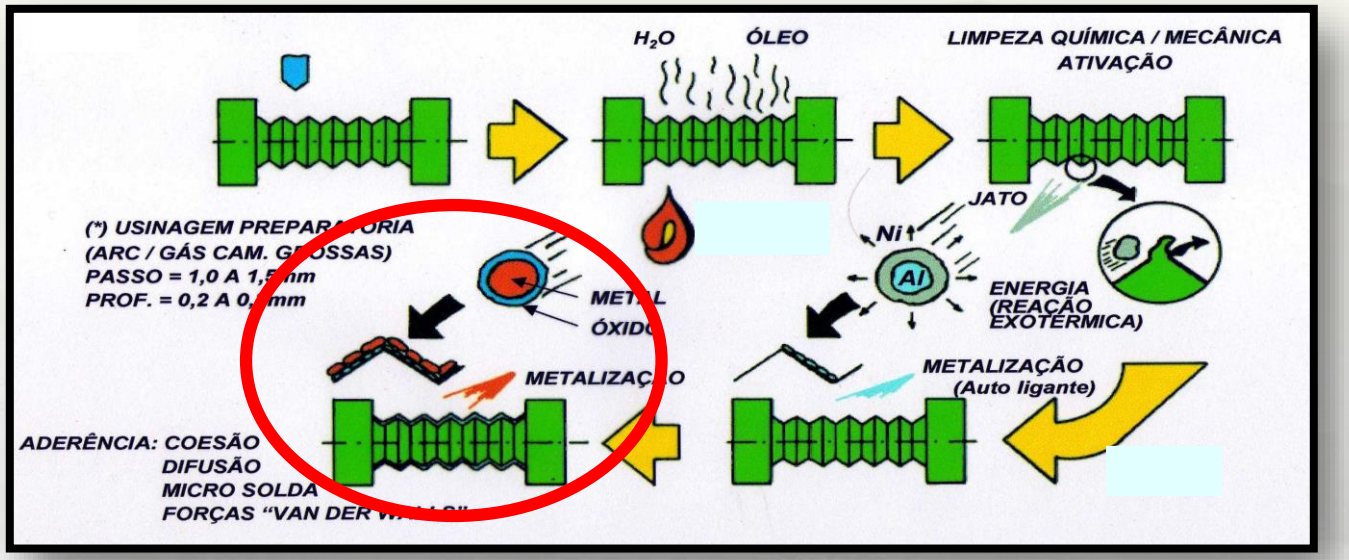


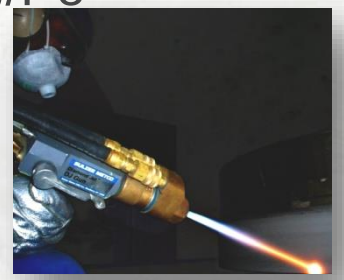
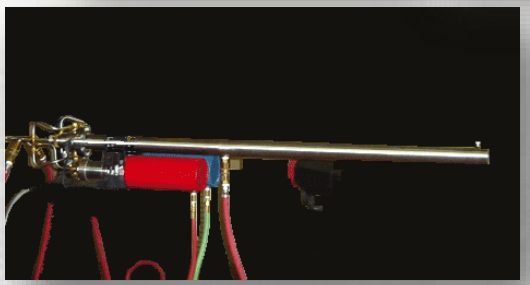
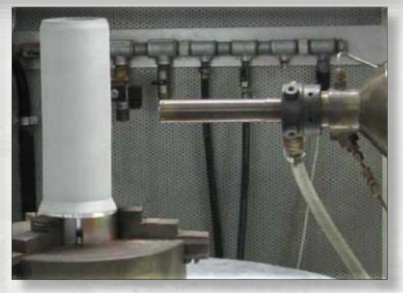
Fig. Ref. (3)

3. Formação da Camada Metalizada

- **Material de estrutura heterogênea**
  - Camada lamelar, composta de:
    - Material propriamente dito.
    - Porosidades.
    - Óxidos.
  - Partícula/Camada
    - Fusão total da partícula sem vaporização até chocar-se com o substrato.
    - As partículas alcançam velocidades variáveis.
    - A camada apresenta-se microporosa.
    - Depósito com aspecto lamelar.
  - Consequência
    - Conjunto com < condutibilidade térmica quando comparado ao material maciço.

4. Equipamentos de Metalização

- **Tipos de Equipamento/Formato do Material a ser Aplicado:**
  - **Metalização à Chama (*Flame Spray*)/Arame, Barra, Cordão ou Pó**
  - **Metalização a Arco Elétrico (*Arc Spray*)/Arame**
  - Metalização a Plasma (Plasma Spray)/Pó
  - Metalização Hipersônica HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*)/Pó
  - Metalização por Detonação (*D-Gun*)/Pó
  - Metalização a Frio (*Cold Spray*)/Pó

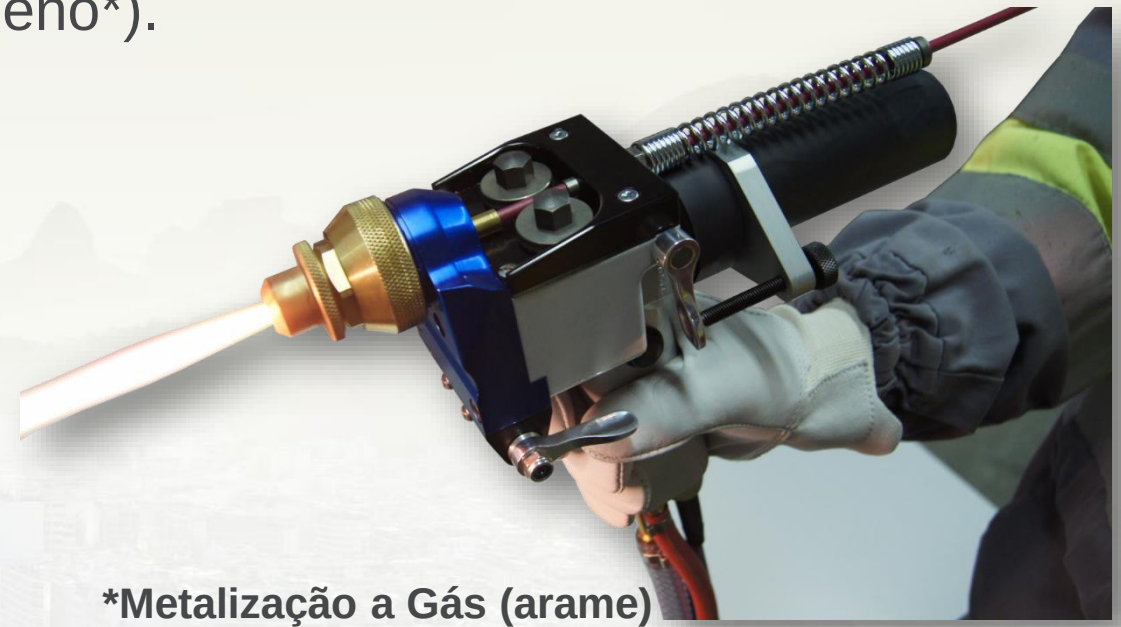




Fotos: Catálogos de fabricantes e Internet

4. Equipamentos de Metalização

- **Tipos de Equipamento/Fonte de Calor: Combustão de Gases**
  - **Gases:** Oxigênio + gás combustível (hidrogênio, propileno, propano ou acetileno*).
  - **Temperaturas:** Superiores a 2.300°C (no interior da pistola).

Metalização a Gás (pó)

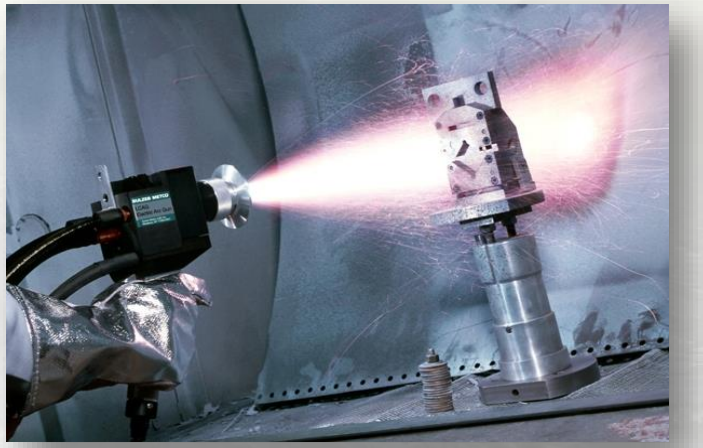


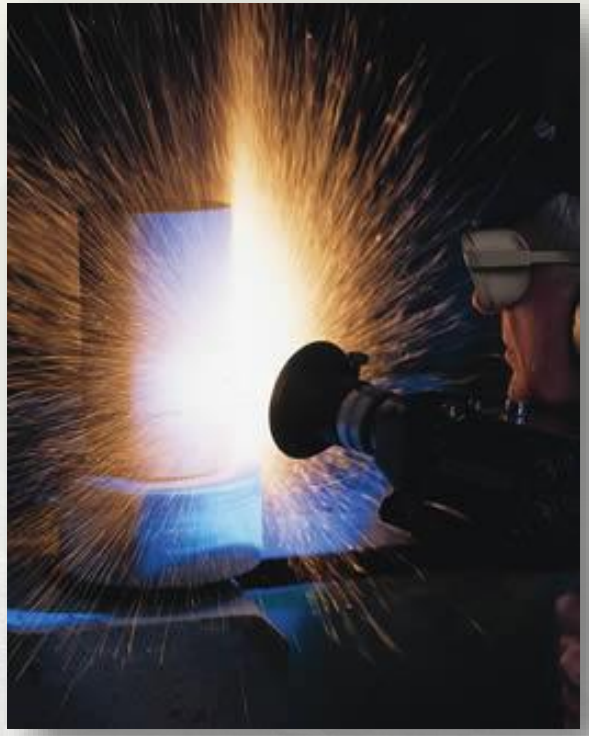
*Metalização a Gás (arame)

Fotos: Refs. (3) e (33)

4. Equipamentos de Metalização

- **Tipos de Equipamento/Fonte de Calor: Energia Elétrica**
  - **Fusão:** Dois arames de material(is) bom(ns) condutor(es) elétrico(s), simultaneamente cortam o fluxo de gás atomizado assim que acontece o arco elétrico entre ambos.
  - **Diferença de potencial:** Entre 18V e 40V.
  - **Temperaturas:** Entre 3.000°C e 4.000°C (no interior da pistola).





Fotos: Catálogos de fabricantes e Internet

4. Equipamentos de Metalização

- **Características dos Equipamentos à Chama (arame)**
  - **Alternativas de materiais:** ferrosos, não-ferrosos e ligas especiais.
  - **Formas de alimentação de matéria-prima:** Turbina a ar comprimido, motor elétrico ou pneumático.
  - **Aumento de dureza da partícula:** Têmpera ao ar.
  - **Atomização e aceleração das partículas:** Através de gases.
  - **Porosidade aproximada de 15%:** Retenção de lubrificantes por capilaridade.
  - **Temperaturas no substrato:** Reduzidas

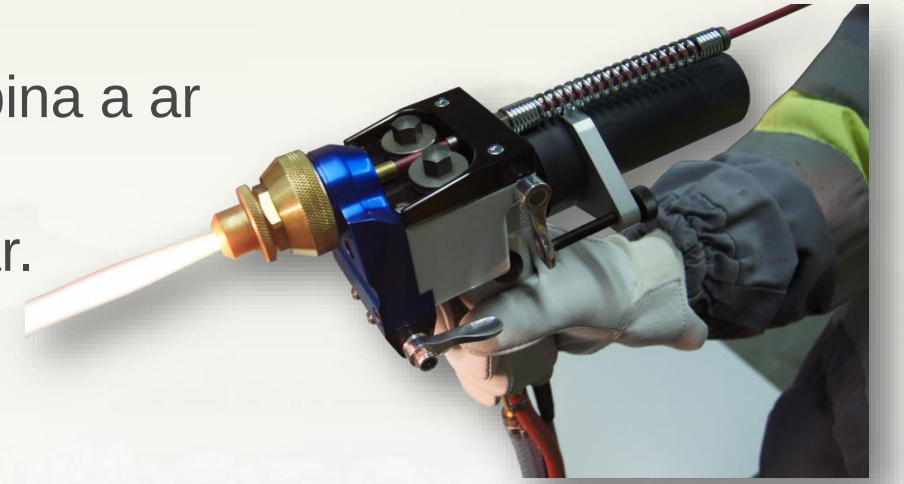


Foto: Ref. (33)

4. Equipamentos de Metalização

- **Características dos Equipamentos a Arco Elétrico (arame)**
  - **Versatilidade:** Peso e mobilidade.
  - **Alternativas de materiais:** Ferrosos, não-ferrosos e ligas especiais.
  - **Formas de alimentação de matéria-prima:** Turbina a ar comprimido, motor elétrico ou pneumático.
  - **Fusão:** Os materiais sofrem fusão e superaquecimento a temperaturas muito acima da temperatura de fusão.
  - **Principais características do processo:**
    - Alta produtividade
    - Reduzidos índices de porosidade se comparado com a metalização a gás.
  - **Atomização e aceleração das partículas:** Através de gases.
  - **Temperaturas no substrato:** Reduzidas.

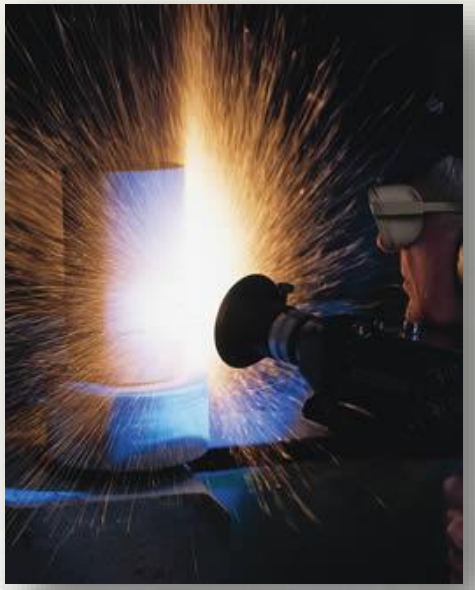


Foto: Catálogo de fabricante

5. Metalização como Solução para:

- **Corrosão a temperaturas ambiente e altas temperaturas, conjugadas ou não com desgaste**
- Desgaste conjugado ou não a altas temperaturas
- Recuperação dimensional conjugado ou não a outras propriedades conforme materiais utilizados
- Isolamento térmico ou elétrico
- Condutibilidade elétrica

5. Metalização como Solução para:

- Condutividade térmica
- Moldabilidade
- Antiaderência
- Antifricção
- Refletividade
- Biocompatibilidade
- *Antifouling*
- **Corrosão e Decoração na construção civil e na arquitetura, etc.**

6. Aplicações

- **Áreas de utilização dentro da indústria em geral**
  - Engenharia
  - Desenvolvimento de Novos Produtos & Marketing
  - Projetos
  - Produção
  - Métodos e Processos
  - Planejamento
  - Manutenção Preditiva, Preventiva e Corretiva
  - Armazenamento
  - Logística entre outros

6. Aplicações

- **Segmentos Industriais e Outros Atendidos**
  - Geração e Distribuição de Energia Hidrelétrica, Térmica, Eólica, Solar, Nuclear entre outras
  - Extração e Refino de Petróleo & Gás
  - Químico
  - Farmacêutico
  - Médico
  - Odontológico
  - Celulose & Papel
  - Alimentos & Bebidas
  - Agropecuário
  - Vidros
  - Siderurgia & Metalurgia em Geral
  - Mineração
  - Saneamento
  - Automóveis, Caminhões e Trens
  - Astronáutica
  - Aeronáutica
  - Naval & Portuária
  - Comunicação
  - Eletro-eletrônica
  - Têxtil
  - Estruturas Metálicas e Equipamentos em Geral
  - Construção Civil e Decoração, etc.

7. Metalização como Solução Anticorrosiva

- **Problema x Solução (Características dos Materiais)**
  - Desgaste por adesão (materiais moles)
  - Desgaste por adesão (materiais duros)
  - Desgaste por abrasão (a baixas temperaturas)
  - Desgaste por abrasão (a altas temperaturas > 480°C)
  - Desgaste por roçamento
  - Desgaste por erosão
  - Desgaste por cavitação
  - Oxidação a altas temperaturas
  - **Corrosão atmosférica e química**
  - Recuperação dimensional
  - Barreira térmica
  - Condutividade elétrica
  - Resistividade elétrica

7. Metalização como Solução Anticorrosiva

- **Vantagens na aplicação**
  - Versatilidade de materiais: grande quantidade de materiais disponíveis.
  - Versatilidade de substratos: metais, vidros, carbono, resinas, plásticos, cerâmicas, tijolos, concreto, tecidos, etc.
  - Versatilidade de processos: chama, arco elétrico, plasma, detonação, hipersônico, à frio, etc.
  - Versatilidade de equipamentos: autonomia, mobilidade e transporte.
  - Independe de tempo de cura.
  - Independe do tamanho das peças/estruturas/equipamentos a serem revestidos.
  - Independe do peso das peças/estruturas/equipamentos a serem revestidos.

7. Metalização como Solução Anticorrosiva

- **Vantagens na aplicação**
  - Aumento da vida útil de peças/estruturas/equipamentos revestidos.
  - Custos inferiores aos da pintura quando se leva em conta a vida útil das estruturas.
  - Reduzido tempo de parada para manutenção de peças/equipamentos/estruturas.
  - Redução drástica na quantidade de interferências em estruturas revestidas contra a corrosão com redução de paradas de produção, operações de logística, etc.
  - Redução nos custos de fabricação de peças otimizando o uso de materiais nobres utilizando-os apenas nas regiões que sofrerão corrosão ou desgaste.
  - Baixo custo de recuperação quando comparado à fabricação de peças novas.
  - Rapidez e redução nos custos de fabricação de moldes.

7. Metalização como Solução Anticorrosiva

- **Vantagens na aplicação**
  - Inexistência de deformações devido às baixas temperaturas de deposição envolvidas.
  - Serviços Executados *In house*, no Campo ou em Obras Externas.
  - Equipamentos e insumos de fácil transporte, tais como: pistolas, painéis, peças sobressalentes, compressores (elétricos ou a diesel), geradores a diesel, máquinas de jateamento, exaustores, filtros, gases, abrasivos, isolamento, ferramentas, EPI's.
  - Fácil montagem de instalações para metalização e jateamento em campo, obedecendo condições de SMS locais.
  - Equipamentos, partes ou peças e estruturas, dos mais variados tamanhos e pesos, instalados ou não, podem ser revestidos contra a corrosão.

7. Metalização como Solução Anticorrosiva

- **Aplicações - Equipamentos e estruturas**
  - Processadores em geral
  - Trocadores de calor
  - Gaiolas de laminação

Fig. Ref. (3)

7. Metalização como Solução Anticorrosiva

- **Aplicações - Equipamentos e estruturas**
  - Tanques, bujões e tubulações
  - Geradores eólicos
  - Plataformas marítimas
  - Estruturas em geral

Fotos: Ref. (35)

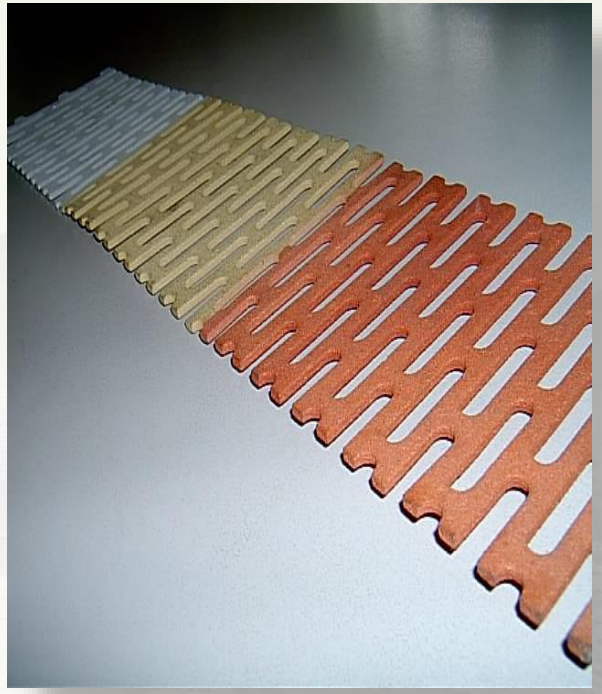
7. Metalização como Solução Anticorrosiva

- **Aplicações - Equipamentos e estruturas**
  - Pontes metálicas
  - Pontes de concreto
  - Estruturas metálicas/civil e em geral

Foto. Ref. (3)

7. Metalização como Solução Anticorrosiva

- **Aplicações - Equipamentos e estruturas**
  - Arquitetura, decoração e obras de arte
  - Peças automotivas



Fotos Ref. (3)

7. Metalização como Solução Anticorrosiva

- **Aplicações - Construção mecânica/Geral**
  - Estruturas e carcaças de máquinas
  - Equipamentos e veículos
  - Tubulações: Instaladas tanto acima, quanto abaixo do solo, ou ainda submersas.
  - Serpentinas
  - Caldeiras
  - Fornos
  - Queimadores
  - Processadores
  - Exaustores
  - Ventiladores
  - Caçambas
  - Vagões
  - Componentes de veículos
  - Tanques de transporte

7. Metalização como Solução Anticorrosiva

- **Aplicações - Construção Naval/Embarcações e Equipamentos Portuários:**
  - Acessórios de embarcações: hélices, leme, eixos, guarnições, aletas, filtros, etc.
  - Equipamentos de auxílio à navegação
  - Embarcadouros, cais e equipamentos portuários em geral.
  - Tubulações, adução de água do mar, etc
  - Boias, guindastes, pontes rolantes
  - Galpões
  - Carcaças de compressores, máquinas e equipamentos
  - Escadas, guarda-corpos, passadiços
  - Alguns revestimentos possuem ação contra a aderência de cracas, mexilhões, algas e microrganismos, eficiente em:
    - Cascos de embarcações e nas instalações portuárias,
    - Aplicados inclusive sobre concreto.

7. Metalização como Solução Anticorrosiva

- **Aplicações - Componentes de usinas hidrelétricas:**
  - Comportas
  - Grades de contenção
  - Escadas, plataformas
  - Pontes, pontes rolantes
  - Tubulações
  - Passadiços, guarda-corpos
  - Torres
  - Carcaças de máquinas
  - Utilidades
  - Equipamentos
  - Estruturas em geral
  - Cabines e quadros de comando
  - Transformadores

Fotos Ref. (3)

8. Metalização Anticorrosiva - Redução de Custos e Aumento de Vida Útil

- ***Case* 1 - Passarelas do porta-aviões USS Constellation (1/4)**
  - Estaleiro Naval Puget Sound - Divisão de Aspersão Térmica de Bremerton, Washington, EUA
  - Encarregado pelo Centro de Pesquisa David Taylor (DTRC), realizou durante 20 anos, estudo comparativo da vida útil de ~ 295m² de passarelas metalizadas e pintadas, instaladas no porta-aviões USS Constellation.

8. Metalização Anticorrosiva - Redução de Custos e Aumento de Vida Útil

- ***Case* 1 - Passarelas do porta-aviões USS Constellation (2/4)**
  - **Pintura:**
    - Ciclo de reparos: 2,5 anos
    - Ciclo de vida das passarelas: 5 anos
    - Custo de aplicação hora/homem: U$ 45,00
    - Custo total da pintura: 607 homens/h x 9 ciclos x U$ 45,00 = U$ 245.835,00
    - Custo de reposição sem pintura: 6.885 homens/h x 4 ciclos x $ 45,00= U$ 1.239.300,00
    - **Valor total durante 20 anos: U$ 1.485.135,00**
  - **Revestimento aplicado por metalização/aspersão térmica**
    - Ciclo de reparos: 10% a cada 5 anos
    - Ciclo de vida das passarelas: 20 anos
    - Custo de aplicação hora/homem: U$ 45,00
    - Custo total da metalização: 2.882 homens/h x 1 ciclo x U$ 45,00 = U$ 129.690,00
    - Custo de reparos sem metalização: 288,2 homens/h x 4 ciclos x U$ 45,00 = U$ 51.876,00
    - **Valor total durante 20 anos: U$ 181.566,00**

8. Metalização Anticorrosiva - Redução de Custos e Aumento de Vida Útil

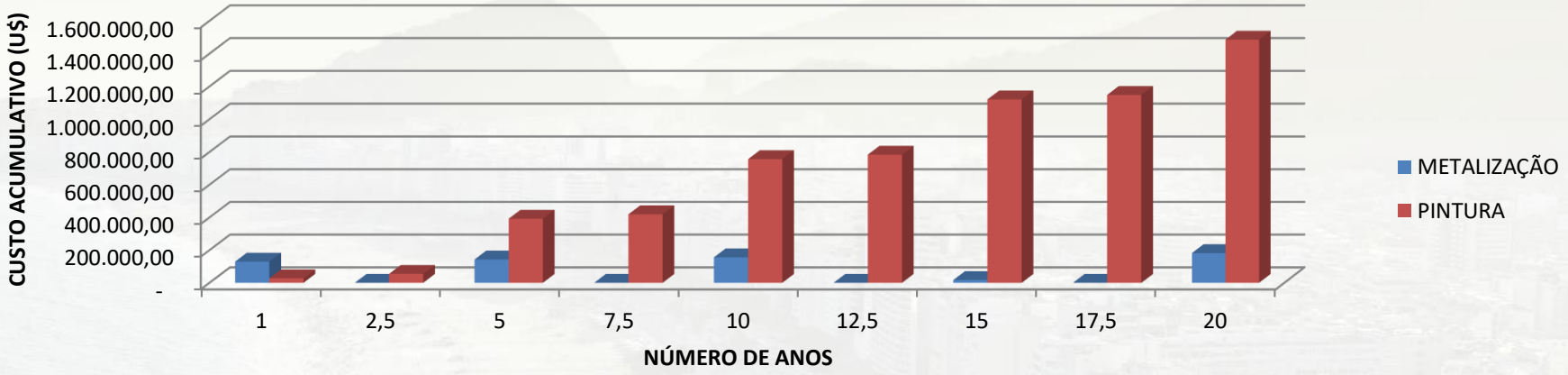
- ***Case* 1 - Passarelas do porta-aviões USS Constellation - Resultados (3/4)**
  - Período: 20 anos
  - Tipo de estrutura: passarelas
  - Área das passarelas ~ 295 m²
  - Ambiente: marinho
  - Custo inicial da pintura: U$ 27.315,00
  - Custo inicial da metalização: U$ 129.690,00
  - Custo inicial pintura/metalização: 21,1%
  - **Economia inicial da pintura: U$ 102.375,00**
  - Custo final da pintura: U$ 1.485.135,00
  - Custo final da metalização: U$ 181.566,00
  - Custo final metalização/pintura: 12,2%
  - **Economia final da metalização: U$ 1.303.569,00**

A Metalização por Aspersão Térmica como Técnica de Proteção Anticorrosiva

8. Metalização anticorrosiva - Redução de Custos e Aumento de Vida Útil

- *Case* 1 - Passarelas do porta-aviões USS Constellation - Resultados (4/4)

COMPARATIVO DE CUSTO PINTURA X METALIZAÇÃO PARA 20 ANOS									
	CUSTO ACUMULATIVO (U$)								
Nº ANOS	1	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
METALIZAÇÃO	129.690,00	-	142.659,00	-	155.628,00	-	172.478,00	-	181.566,00
PINTURA	27.315,00	54.630,00	391.770,00	419.085,00	756.225,00	783.540,00	1.120.680,00	1.147.995,00	1.485.135,00



8. Metalização Anticorrosiva - Redução de Custos e Aumento de Vida Útil

- ***Case* 2 - Estrutura para abatimento de espuma no Rio Tietê em Pirapora do Bom Jesus/SP (1/5)**
  - **Objetivo:**
    - Atender ao projeto da SABESP Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.
    - Proteção anticorrosiva da estrutura da ponte construída e instalada em 1998, composta de tubos de aço carbono, para condução e aspersão de produtos químicos/água para abatimento de espuma do Rio Tietê em Pirapora do Bom Jesus na Grande São Paulo.

8. Metalização Anticorrosiva - Redução de Custos e Aumento de Vida Útil

- ***Case* 2 - Estrutura para abatimento de espuma no Rio Tietê em Pirapora do Bom Jesus/SP (2/5)**
  - **Problema:**
    - Formação de espuma causada pela concentração de poluentes nas águas do rio.
    - Flocos de espuma carregados pelo vento, mancham roupas, predes de casas, pintura de automóveis e causam irritação de pele aos alérgicos.
    - Cheiro de enxofre causado pela liberação de gases da espuma incomoda moradores e afugenta turistas.

8. Metalização Anticorrosiva - Redução de Custos e Aumento de Vida Útil

- ***Case* 2 - Estrutura para abatimento de espuma no Rio Tietê em Pirapora do Bom Jesus/SP (3/5)**
  - **Causa do problema:**
    - O Rio Tietê ao atravessar as comportas da Usina Hidrelétrica de Pirapora, sofre agitação, gerando um turbilhão que devido ao detergente doméstico contido em suas águas, resulta na formação de uma espessa camada de espuma.
    - O fenômeno é agravado pela presença de esgoto doméstico não tratado, pela falta de oxigênio na água, que dificulta a degradação do detergente doméstico e piorado quando ocorre baixa vazão da água.

8. Metalização Anticorrosiva - Redução de Custos e Aumento de Vida Útil

- ***Case* 2 - Estrutura para abatimento de espuma no Rio Tietê em Pirapora do Bom Jesus/SP (4/5)**
  - **Solução proposta e efetivada**
    - Venda e acompanhamento de Metalização anticorrosiva na superfície exposta da estrutura da ponte.
    - Ponte enviada em partes às instalações da metalizadora
    - Jateamento abrasivo
    - Metalização com zinco

8. Metalização Anticorrosiva - Redução de Custos e Aumento de Vida Útil

- ***Case* 2 - Estrutura para abatimento de espuma no Rio Tietê em Pirapora do Bom Jesus/SP (5/5)**
  - **Solução proposta e efetivada**
    - Retirada pelo cliente
    - Montagem pela SABESP do conjunto no local, sobre o rio.
    - Retoque *in loco* das partes soldadas.
  - **Resultado**
    - Anos depois o revestimento ainda resistia à corrosão
    - Pintura à base de zinco já encontrava-se em estado de deterioração

8. Metalização Anticorrosiva - Redução de Custos e Aumento de Vida Útil

- ***Case* 3 - Restauração de gradis do Viaduto do Chá/Centro da Capital/SP (1/4)**
  - **História**
    - Idealizado pelo francês Jules Martin em outubro de 1877 e após 15 anos, (com a construção efetivamente iniciada em 1889), o Viaduto do Chá, localizado na área central de São Paulo, foi inaugurado em 8 de novembro de 1892.
    - Em 1938 a sua estrutura metálica original, importada da Alemanha, com piso de madeira, deu lugar após a sua demolição, a um novo viaduto construído em concreto armado com o dobro de largura.
    - Em 2000, o Viaduto do Chá, teve suas grades restauradas após um ano de negociações junto à órgãos da prefeitura e posterior acompanhamento de nossa parte.

8. Metalização Anticorrosiva - Redução de Custos e Aumento de Vida Útil

- ***Case* 3 - Restauração de gradis do Viaduto do Chá/Centro da Capital/SP (2/4)**
  - **Motivo da restauração**
    - Corrosão e/ou inexistência das extremidades das grades fixadas às muretas, causadas pela urina dos moradores de rua.
  - **Como foi executada a restauração das grades - A empreiteira (1/2)**
    - Extremidades dos tubos que ainda restavam foram cortadas
    - Remoção do revestimento anterior (metalização)
    - Soldagem de novos pedaços de tubos ao restante das partes das estruturas

Foto. Ref. (3)

8. Metalização Anticorrosiva - Redução de Custos e Aumento de Vida Útil

- ***Case* 3 - Restauração de gradis do Viaduto do Chá/Centro da Capital/SP (3/4)**
  - **Como foi executada a restauração das grades - A metalizadora (1/2)**
    - Jateamento abrasivo
    - Metalização com zinco
    - Metalização com bronze
    - Pintura com verniz indicado pela empreiteira

Fotos. Ref. (3)

8. Metalização Anticorrosiva - Redução de Custos e Aumento de Vida Útil

- ***Case* 3 - Restauração de gradis do Viaduto do Chá/Centro da Capital/SP (4/4)**
  - **Como foi executada a restauração das grades - A empreiteira (2/2)**
    - Montagem das grades nas muretas
  - **Como foi executada a restauração das grades - A metalizadora (2/2)**
    - Aplicação da segunda demão do verniz indicado pela empreiteira
  - **Proposta**
    - Revestimentos decorativos/protetivos metalizados podem ser aplicados em projetos arquitetônicos e decorativos como fachadas, portões, cercas, fontes, murais, pórticos, arcos, estruturas metálicas expostas, monumentos e obras de arte em geral.

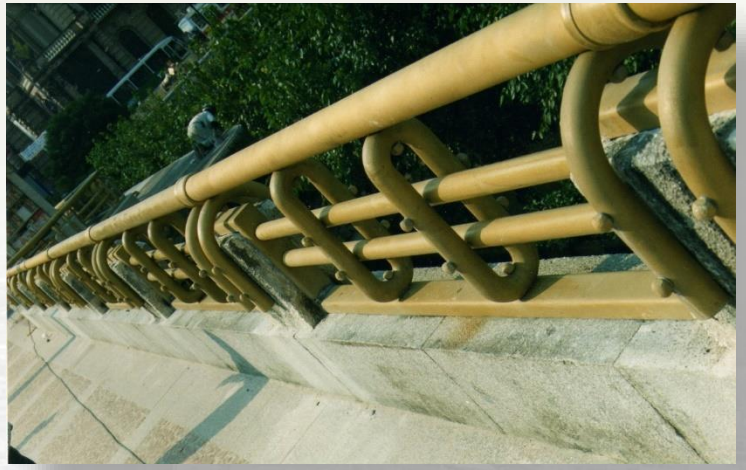


Foto. Ref. (3)

9. Metalização anticorrosiva - Aplicações Específicas

- **Energias alternativas - Geradores eólicos *offshore* (1/7)**
  - 1992: em Fernando de Noronha instalado o primeiro gerador de energia eólica do país.
  - Segundo o Canal Energia em fevereiro de 2021, a energia eólica chegou a 18 GW de capacidade instalada no Brasil, ou seja 10,3% da matriz elétrica nacional e conforme dados da Associação Brasileira da Energia Eólica, na época era composta por 695 parques e mais de 8.300 aerogeradores.
  - Os 9.650 km de áreas costeiras possibilitam ao Brasil enormes possibilidades no campo da geração de energia eólica, principalmente *offshore*.

9. Metalização anticorrosiva - Aplicações Específicas

- **Energias alternativas - Geradores eólicos *offshore* (2/7)**
  - O gerador eólico (tipo turbina eólica horizontal axial) gera energia elétrica através do impulso do vento que ao movimentar as pás, aciona a caixa de engrenagens, o gerador de força, o sistema hidráulico e um controlador eletrônico.
  - Esses equipamentos por sua vez são sustentados por um chassi, contidos em uma *nacele*, apoiada numa torre de aço (ou concreto) sobre fundações de concreto e as pás da turbina presas ao *hub*.

9. Metalização anticorrosiva - Aplicações Específicas

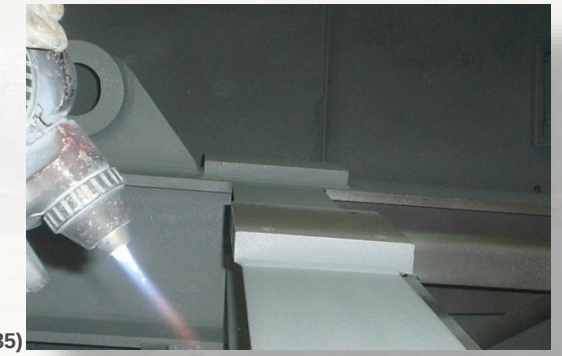
- **Energias alternativas - Geradores eólicos *offshore* (3/7)**
  - Zonas de corrosão e categorias de corrosividade
    1. Zona submersa (Im2*)
    2. Zona intermediária
    3. Zona de respingo (*splash*) (C5-M**)
    4. Zona atmosférica (C5-M**)
    5. Zona interna (*nacelle*)

* Categoria de mar e solo / DIN EN ISO 12944-2 - Im2: mar ou água salobra. Áreas portuárias com estruturas como comportas, bloqueios, quebramar e estruturas offshore

** Categorias de corrosividade atmosférica e exemplos de meio-ambientes típicos / DIN EN ISO 12944-2 - C5-M : corrosividade muito elevada (marinha). Zonas costeiras e offshore com alta salinidade.

9. Metalização anticorrosiva - Aplicações Específicas

- **Energias alternativas - Geradores eólicos *offshore* (4/7)**
  - Metalização com alumínio e suas ligas: combate à **corrosão** em estruturas de sustentação e apoio, como chassi, *nacelle*, *hub* e torres de sustentação* devido à umidade, ventos, maresia e da água do mar.
  - Metalização com cobre e suas ligas: combate à ação de incrustações de organismos marinhos nas torres de sustentação.
  - Metalização com aços ligados: recuperação dimensional de partes de equipamentos rotativos.



Fotos: Ref. (35)

9. Metalização anticorrosiva - Aplicações Específicas

- **Energias alternativas - Geradores eólicos *offshore* (5/7)**

  - Espessuras das estruturas devem ser as maiores possíveis para ampliar ao máximo o período entre manutenções e alcançar a vida útil desejada de 40 anos.

  - Espessuras tais que resistam agressividade do ambiente marinho com altas taxas de corrosão, da erosão devido ao impacto das partículas de sal e gotas d'água, das cargas mecânicas devidas à flutuação do gelo, da bioincrustação, das variações metereológicas, dos ventos, das ondas, somadas à dificuldade e altos custos de acesso para a manutenção.

9. Metalização anticorrosiva - Aplicações Específicas

- **Energias alternativas - Geradores eólicos *offshore* (6/7)**
  - **Problema**
    - **Espessura necessária estimada:** para uma vida útil desejada de 40 anos, as estruturas em aços tolerantes à corrosão, mesmo somados à utilização de sistemas de pintura adequados e à instalação de anodos de sacrifício, teriam que sofrer um aumento de peso absurdo, devido ao acréscimo nas espessuras necessárias, alcançando cerca de **12 mm**.

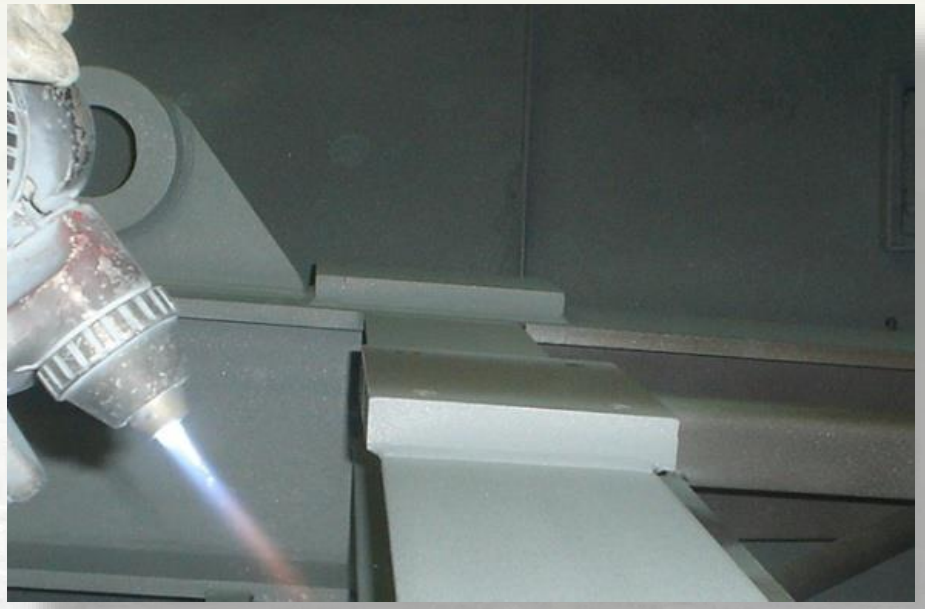


Foto: Ref. (35)

9. Metalização anticorrosiva - Aplicações Específicas

- **Energias alternativas - Geradores eólicos *offshore* (7/7)**
  - **Solução**
    - **Espessura esperada:** estudos confirmam que através da aplicação de ligas de alumínio por metalização, utilizando-se de criteriosos parâmetros de deposição, a redução na espessura de estruturas devida aos **níveis de corrosão previstos para 40 anos, cairia de 12 mm para apenas 3 mm,** na zona de respingos, considerada a mais crítica entre elas.

9. Metalização anticorrosiva - Aplicações Específicas

- **Construção Civil/Estruturas Metálicas:**
  - **Hotel: Burj Al Arab**
  - Local: Dubai, Emirados Árabes Unidos
  - Área Total Metalizada: 10.000m²
  - Período de Metalização: 6 meses
  - Equipamento Utilizado: Arco elétrico
  - Itens Metalizados: Estrutura do *deck* do heliporto, mastro montado no telhado e 6 reforços diagonais de sustentação com mais de 200 ton cada.
  - Vida Útil Prevista: 15 a 20 anos
  - Ambiente: Crítico de litoral

9. Metalização anticorrosiva - Aplicações Específicas

- **Construção Civil/Estruturas Metálicas:**
  - **Museu: Zayed National Museum**
  - Local: Abu Dhabi
  - Área Total a ser Metalizada: 100.000m²
  - Período de Metalização Previsto: Do 4º trimestre de 2010 ao 1º trimestre de 2012
  - Vida Útil Prevista: 100 anos sem manutenção

9. Metalização anticorrosiva - Aplicações Específicas

- **Construção Civil/Pontes e Viadutos com Estruturas Metálicas:**
  - **Sistemas de proteção anticorrosiva: Estudos de 1984, EUA**
    - **Sistema 1 de pintura:** Jateamento + 3 camadas (inorgânico, epóxi poliamida e uretano). Vida útil estimada de 17 anos. Requer manutenção em menos de 10 anos.
    - **Sistema 2 de pintura:** Jateamento + 2 camadas (inorgânico e vinil). Vida útil estimada de 15 anos. Requer manutenção em menos de 10 anos.
    - **Sistema de metalização:** Sistema de metalização + selagem. Vida útil estimada de **mais de 25 anos.**

9. Metalização anticorrosiva - Aplicações Específicas

- **Construção Civil/Pontes e Viadutos com Estruturas Metálicas:**
  - Dakota do Sul - EUA
    Metalização: mar 2002
    Peso: 1.813 ton
    Dimensões: 18m larg. x 12m alt. x 97m comp.
  - New Jersey - EUA
    Metalização: mar 2001
    Peso: 121 ton
    Comprimento: 44m
  - Rhode Island's - EUA
    Metalização: 1984
    Área = 1.486m²

9. Metalização anticorrosiva - Aplicações Específicas

- **Construção Civil/Pontes e Viadutos com Estruturas em Concreto Armado:**
  - Ohio Turnpike - EUA/Resina: fenólica/Metalização: jul. 2001/Área = 2.137 m²
  - Morrow (1986)
  - Madison (1987)
  - Delaware (1988)
  - Marion (1991)
  - Lawrence (1994)
  - Highland (1995)
  - Scioto (1996)
  - Highland (2000)

9. Metalização anticorrosiva - Aplicações Específicas

- **Energia/Usinas Hidrelétricas:**
  - **Local: Índia**
  - Equipamento: Comporta
  - Quantidade: 3
  - Área/comporta: 3000 m²
  - Processo: Metalização à chama
  - Período: 27 anos
  - Condições atuais: Excelentes

9. Metalização anticorrosiva - Aplicações Específicas

- **Energia/Usinas Hidrelétricas:**
  - **Metalização das Comportas do Vertedouro da Usina Blue Mesa**
  - Localizada a 40 km a oeste de Gunnison, no Rio Colorado, Colorado - E.U.A. Iniciada em 1961 e concluída em 1966, gera atualmente 86,4MW.
  - A proteção anticorrosiva: Preparação da superfície, metalização e selagem (*topcoat* orgânico)
  - Peças revestidas:
    - 2 comportas radiais de aço de 7,6 m x 10,2 m em ambos os lados
    - Sede do rolamento
    - Caixas terminais
    - Braços e pino da base do munhão
    - Escadas
    - Gaiola de segurança
    - Passarelas
    - Trilhos
    - Plataforma

10. Bibliografia

1. “Aspersão Térmica na Construção Metálica - Ciência e Arte” Contribuição Técnica apresentada no CONSTRUMETAL 2006 - Congresso Latino-Americano da Construção Metálica - Setembro 2006 - São Paulo - SP - Brasil.
2. Metalização: O Revestimento Verde - Eng. Luiz Cláudio O. Couto - Palestra Informativa- Divisão de Formação - DEA/UMAPAZ3/SVMA - Ibirapuera/SP - 09/11/2016.
3. Anotações, figuras e fotos próprias: Eng. Luiz Cláudio O. Couto. 1984/2021, Brasil
4. Artigo originalmente publicado no boletim eletrônico InforMetalização Nº 1, Ano 1 Maio 2010 - São Paulo/SP - Brasil.
5. Economics of Thermal Spraying for the Long-Term Corrosion Protection of Steel Structures by: Hugh Morrow, III Zinc Institute Inc. Spraytime Volume 13, Number 1 - First Quarter 2006.
6. International Thermal Spray Association - May 15-18, 2006 Seatle, Washigton/USA Blog: http://engenhariacivilnanet.blogspot.com/2007/08/burj-al-arab-hotel.html .
7. CanalEnergia/GERAÇÃO/EÓLICA - ttps://www.canalenergia.com.br/noticias/53163929/energia-eolica-chega-a-18-gw-de-capacidade-instalada-no-brasil (20/11/2021).

10. Bibliografia

8. Corrosion and Corrosion Protection of Offshore Wind Energy Towers/Dr. Andreas W. Momber Muehlhan AG/Hamburg, Germany.
9. Characteristics and electrochemical corrosion behaviour of thermal sprayed aluminium (TSA) coatings prepared by various wire thermal spray processes S. Shrestha and A. Sturgeon - TWI Ltd, Granta Park, Great Abington, Cambridge, CB1 6AL, United Kingdom - Paper published in EUROCORR 2005 Lisbon, Portugal, 4-8 September 2005.
10. BSI - British Standard International - BS 5493 - British Standard Code of Practice for Protective Coating of Iron and Steel Structures against Corrosion.
11. ISO International Organization for Standardization - ISO 2063 - Thermal Spraying - Metallic and other Inorganic Coatings - Zinc, Aluminum and their Alloys.
12. Petrobras - N-2568 - Revestimentos Anticorrosivos Aplicados por Aspersão Térmica I-ET-3010.00-1200-940-PPC-001 - Thermal Spray Coating Application of Aluminum.
13. (WO/2001/083842) System for Protection of Submerged Marine Surfaces Call, Edwin - Power Spray Inc.- US - 2001.
14. The Use of Thermal Sprayed Zinc Alternative to Hot Dipped Galvanizing - Radzik, Joseph G.- Director of Engineering Research & Development - Tyco Fire & Building Products.

10. Bibliografia

15. Corrosion Protection of Duplex Steel at Elevated Temperatures in an Offshore Environment by Thermal Spray Application of an Aluminum - Coating System TP078 - Luterek, Steve - HFW Industries - Maguire, Craig J. - Dresser-Rand, Olean, NY, USA.
16. Estaton, W. - Sprayed Aluminium Coatings - Why, When, How ? - Metallisation Limited, England.
17. Metco - Flame Spray Hanbook Vol. 1 - Wire Process - Metco Inc., E.U.A.
18. Protective Coating of Iron and Steel Structures Against Corrosion - British Standard Code of Pratice for BS 5493: 1977 Section one/two, England.
19. Birchfield, John R. - Zinc Metalling Protects a Bridge - Welding Design & Fabrication, Oct 86, U.S.A.
20. Rodrigues, Joaquim - ZTP A Mais Eficiente Arma Contra a Corrosão de Concreto Armado Rev. Recuperar jul/ago 1997, n° 18, pg.4/8, Brasil.
21. Alvim, João Alfredo C.- Corrosão na Armadura do Concreto Armado: Influência dos Agentes Cloretos e da Carbonatação - www.arquitetura.com.br - 16/05/2002, Brasil.
22. Site: www.sampa.art.br - Fonte: Departamento do Patrimônio Histórico São Paulo - Viaduto do Chá - Consulta realizada em 26/07/2006, Brasil.

10. Bibliografia

23. Catálogos GTV
24. Catálogos Höganäs
25. Catálogos MEC Metallizing Equipment Co. PVT Ltd.
26. Catálogos Metallisation
27. Catálogos Nova Swiss
28. Catálogos Plasma Giken
29. Catálogos Praxair/Surface Technologies/Tafa
30. Catálogos Progressive Technologies
31. Catálogos Sulzer Metco
32. Catálogos Walcomony Co.
33. Catálogos Saint-Gobain Coating Solutions
34. Fotos obtidas na Internet
35. Fotos gentilmente cedidas pela Revex

Congresso Internacional de Pintura e Revestimentos Anticorrosivos

A Metalização por Aspersão Térmica como Técnica de Proteção Anticorrosiva

Eng° Luiz Cláudio de Oliveira Couto

Grato pela atenção!

www.metalizacao.eng.br