

Revestimentos Metálicos por Aspersão Térmica

Procedimento

Esta Norma substitui e cancela a sua revisão anterior.

Cabe à CONTEC - Subcomissão Autora, a orientação quanto à interpretação do texto desta Norma. A Unidade da PETROBRAS usuária desta Norma é a responsável pela adoção e aplicação das suas seções, subseções e enumerações.

Requisito Técnico: Prescrição estabelecida como a mais adequada e que deve ser utilizada estritamente em conformidade com esta Norma. Uma eventual resolução de não segui-la ("não-conformidade" com esta Norma) deve ter fundamentos técnico-gerenciais e deve ser aprovada e registrada pela Unidade da PETROBRAS usuária desta Norma. É caracterizada por verbos de caráter impositivo.

Prática Recomendada: Prescrição que pode ser utilizada nas condições previstas por esta Norma, mas que admite (e adverte sobre) a possibilidade de alternativa (não escrita nesta Norma) mais adequada à aplicação específica. A alternativa adotada deve ser aprovada e registrada pela Unidade da PETROBRAS usuária desta Norma. É caracterizada por verbos de caráter não-impositivo. É indicada pela expressão: **[Prática Recomendada]**.

Cópias dos registros das "não-conformidades" com esta Norma, que possam contribuir para o seu aprimoramento, devem ser enviadas para a CONTEC - Subcomissão Autora.

As propostas para revisão desta Norma devem ser enviadas à CONTEC - Subcomissão Autora, indicando a sua identificação alfanumérica e revisão, a seção, subseção e enumeração a ser revisada, a proposta de redação e a justificativa técnico-econômica. As propostas são apreciadas durante os trabalhos para alteração desta Norma.

"A presente Norma é titularidade exclusiva da PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS, de uso interno na PETROBRAS, e qualquer reprodução para utilização ou divulgação externa, sem a prévia e expressa autorização da titular, importa em ato ilícito nos termos da legislação pertinente, através da qual serão imputadas as responsabilidades cabíveis. A circulação externa será regulada mediante cláusula própria de Sigilo e Confidencialidade, nos termos do direito intelectual e propriedade industrial."

CONTEC

Comissão de Normalização
Técnica

SC - 26

Soldagem

Apresentação

As Normas Técnicas PETROBRAS são elaboradas por Grupos de Trabalho - GT (formados por Técnicos Colaboradores especialistas da Companhia e de suas Subsidiárias), são comentadas pelas Unidades da Companhia e por suas Subsidiárias, são aprovadas pelas Subcomissões Autoras - SC (formadas por técnicos de uma mesma especialidade, representando as Unidades da Companhia e as Subsidiárias) e homologadas pelo Núcleo Executivo (formado pelos representantes das Unidades da Companhia e das Subsidiárias). Uma Norma Técnica PETROBRAS está sujeita a revisão em qualquer tempo pela sua Subcomissão Autora e deve ser reanalisada a cada 5 anos para ser revalidada, revisada ou cancelada. As Normas Técnicas PETROBRAS são elaboradas em conformidade com a Norma Técnica PETROBRAS N-1. Para informações completas sobre as Normas Técnicas PETROBRAS, ver Catálogo de Normas Técnicas PETROBRAS.

Sumário

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | Escopo..... | 6 |
| 2 | Referências Normativas | 6 |
| 3 | Termos e Definições..... | 7 |
| 4 | Requisitos de Segurança | 10 |
| 4.1 | Gases para Aspersão Térmica | 10 |
| 4.2 | Precauções Durante o Jateamento..... | 10 |
| 4.3 | Pistola de Aspersão Térmica | 10 |
| 4.4 | Redução dos Riscos Respiratórios | 11 |
| 4.5 | Proteção Pessoal | 11 |
| 4.6 | Equipamentos de Proteção Individual..... | 11 |
| 4.7 | Redução do Nível de Ruído | 12 |
| 4.8 | Gases | 12 |
| 4.9 | Trabalhos em Espaços Confinados e/ou Fechados | 12 |
| 4.10 | Centelhamento do Alumínio..... | 13 |
| 5 | Etapas de Qualificação Anterior a Execução do Trabalho..... | 13 |
| 5.1 | Etapa Documental..... | 13 |
| 5.2 | Mão de Obra | 13 |
| 5.2.1 | Seleção de Inspetor | 13 |
| 5.2.2 | Nível de Qualificação Necessária para a Mão de Obra..... | 13 |
| 5.3 | Elaboração/Qualificação do Procedimento para Execução do Trabalho | 14 |
| 5.3.1 | Especificações e Procedimentos dos Serviços | 14 |
| 5.3.2 | Elaboração dos Corpos-de-Prova..... | 15 |
| 5.4 | Ensaio de Qualificação..... | 17 |
| 5.4.1 | Exame Visual | 17 |
| 5.4.2 | Medição de Espessura..... | 17 |
| 5.4.2.1 | Equipamento de Ensaio..... | 17 |
| 5.4.2.2 | Execução do Ensaio | 17 |
| 5.4.2.3 | Critério de Avaliação..... | 20 |
| 5.4.3 | Ensaio de Dobramento | 20 |

| | | |
|---------|--|----|
| 5.4.3.1 | Equipamento de Ensaio..... | 20 |
| 5.4.3.2 | Execução do Ensaio | 20 |
| 5.4.3.3 | Critérios de Avaliação..... | 20 |
| 5.4.4 | Ensaio de Adesão..... | 21 |
| 5.4.5 | Medida de Espessura do Selante..... | 22 |
| 5.4.6 | Relatório de Registro dos Resultados da Qualificação | 23 |
| 6 | Execução do Trabalho em Campo..... | 23 |
| 6.1 | Avaliação das Condições de Projeto | 23 |
| 6.2 | Avaliação da Possibilidade de Aspersão Térmica..... | 23 |
| 6.3 | Pré-Limpeza da Superfície..... | 24 |
| 6.4 | Requisitos Necessários para a Limpeza Final antes da Aspersão Térmica..... | 25 |
| 6.4.1 | Condições Ambientais | 25 |
| 6.4.2 | Ar Comprimido | 25 |
| 6.4.3 | Marcação e Proteção das Regiões a Serem Jateadas | 26 |
| 6.4.4 | Equipamento de Jateamento..... | 26 |
| 6.4.5 | Abrasivo | 26 |
| 6.5 | Jateamento Final da Superfície | 27 |
| 6.6 | Aplicação do Revestimento por Aspersão Térmica..... | 29 |
| 6.6.1 | Pistolas para Aspersão Térmica..... | 29 |
| 6.6.2 | Escolha do Processo de Aplicação..... | 29 |
| 6.6.3 | Espessura do Revestimento | 29 |
| 6.6.4 | Arame para Aspersão Térmica | 29 |
| 6.6.4.1 | Alumínio | 29 |
| 6.6.4.2 | Zinco | 29 |
| 6.6.4.3 | Aço Inox AISI 316 | 29 |
| 6.6.5 | Pré-Aquecimento | 30 |
| 6.6.6 | Método de Aplicação..... | 30 |
| 6.6.7 | Intervalo de Aplicação..... | 30 |
| 7 | Selantes..... | 31 |
| 8 | Controle da Qualidade em Campo..... | 32 |
| 8.1 | Controle da Qualidade do Processo de Aspersão Térmica..... | 32 |

| | |
|--|----|
| 8.2 Controle da Qualidade do Revestimento Aplicado | 33 |
| 8.2.1 Inspeção Visual da Superfície Jateada..... | 33 |
| 8.2.2 Medição da Rugosidade | 33 |
| 8.2.3 Inspeção Visual do Revestimento Aplicado..... | 33 |
| 8.2.4 Medição da Espessura..... | 33 |
| 8.2.4.1 Áreas Contínuas entre 1 cm ² até 1 m ² | 33 |
| 8.2.4.2 Áreas Contínuas Superiores a 1 m ² | 33 |
| 8.2.4.3 Áreas com Variações de Geometria/Forma | 34 |
| 8.2.5 Ensaio de Adesão no Campo | 34 |
| 8.2.6 Inspeção Visual do Selante | 34 |
| 9 Manutenção e Reparo | 34 |
| 9.1 Reparo após a Aplicação do Revestimento em Superfícies Novas ou em Estoque | 34 |
| 9.2 Reparo após a Exposição do Substrato ao Meio Corrosivo | 37 |
| 10 Registro de Aplicação..... | 37 |
| Anexo A - Figuras..... | 40 |
| Anexo B - Tabela..... | 45 |
| Anexo C - Recomendações para a Seleção de Revestimentos para a Proteção do Aço em Ambientes Corrosivos | 46 |
| Anexo D - Modo de Aplicação dos Passes | 48 |

Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Perfil Cantoneira para Ensaio de Medição de Espessura | 16 |
| Figura 2 - Perfil H para Ensaio de Medição de Espessura | 16 |
| Figura 3 - Esquema de Medição de Espessura em Corpo-de-Prova tipo Cantoneira..... | 18 |
| Figura 4 - Esquema de Medição de Espessura em Corpo-de-Prova tipo Chapa..... | 18 |
| Figura 5 - Esquema de Medição de Espessura em Corpo-de-Prova tipo Tubo | 19 |
| Figura 6 - Padrões para Avaliação das Trincas e Descontinuidades em Corpos-de-Prova Revestidos e Ensaiaados por Dobramento | 21 |
| Figura 7 - Posições para Colagem dos Dispositivos de Aderência | 22 |
| Figura A.1 - Fluxograma das Verificações de Controle de Qualidade..... | 40 |
| Figura A.2 - Ferramenta para Ensaio de Arrancamento pela Faca | 41 |
| Figura A.3 - Riscamento da Camada | 41 |

| | |
|---|----|
| Figura A.4 - Tentativa de Desplacamento da Camada a Partir do Risco | 42 |
| Figura A.5 - Equipamento de Dobramento..... | 42 |
| Figura A.6 - Esquema do Equipamento de Dobramento | 43 |
| Figura A.7 - Alicates para Retirada do Pino de Tração | 44 |
| Figura A.8 - Comparador Visual de Rugosidade para Superfícies Jateadas e Lanterna de Iluminação Homogênea | 44 |
| Figura D.1 - Sobrepasso entre Passos | 48 |
| Figura D.2 - Aplicação das Camadas..... | 48 |

Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Critério de Avaliação da Espessura dos Revestimentos | 20 |
| Tabela 2 - Critério de Avaliação dos Ensaios de Dobramento para Aprovação das Camadas | 20 |
| Tabela 3 - Valores de Adesão para Esquemas de Aspersão Térmica | 22 |
| Tabela 4 - Procedimento para Execução de Reparo de Áreas Revestidas Danificadas..... | 35 |
| Tabela B.1 - Verificações Recomendadas Durante a Aplicação de Revestimentos por Aspersão Térmica | 45 |
| Tabela C.1 - Recomendação para Seleção de Revestimentos em Ambientes Corrosivos..... | 47 |

1 Escopo

1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis e práticas recomendadas para a seleção e deposição de revestimentos metálicos na forma de pulverização ou spray de alumínio, zinco, ligas zinco/alumínio e aços inoxidáveis, utilizando os processos de aspersão térmica à chama ou a arco, em componentes metálicos fabricadas de aço que venham a ser expostas a meio corrosivo.

1.2 Esta Norma se aplica ao processo de metalização por aspersão térmica durante a montagem e manutenção de tubulações, equipamentos e outros acessórios.

1.3 Esta Norma se aplica a procedimentos iniciados a partir da data de sua edição.

1.4 Esta Norma contém Requisitos Técnicos e Práticas Recomendadas.

2 Referências Normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes dos referidos documentos (incluindo emendas).

PETROBRAS [N-9](#) - Tratamento de Superfícies de Aço com Jato Abrasivo e Hidrojateamento;

PETROBRAS [N-2198](#) - Tinta de Aderência Epóxi-Isocianato-Óxido de Ferro;

PETROBRAS [N-2628](#) - Tinta Epóxi Poliamida de Alta Espessura;

PETROBRAS [N-2637](#) - Segurança no Trabalho em Espaço Confinado;

ABNT [NBR NM ISO 3310-1](#) - Peneiras de Ensaio - Requisitos Técnicos e Verificação - Parte 1: Peneiras de Ensaio com Tela de Tecido Metálico;

ABNT [NBR 10443](#) - Tintas e Vernizes - Determinação da Espessura da Película Seca Sobre Superfícies Rugosas - Método de Ensaio;

ABNT [NBR 15218](#) - Critérios para Qualificação e Certificação de Inspetores de Pintura Industrial;

ABNT [NBR 15488](#) - Pintura Industrial - Superfície Metálica para Aplicação de Tinta - Determinação do Perfil de Rugosidade;

ABNT [NBR 15877](#) - Pintura Industrial - Ensaio de Aderência por Tração;

ISO [1463](#) - Metallic and Oxid Coatings - Measurement of Coating Thickness - Microscopical Method;

ISO [2178](#) - Non-Magnetic Coatings on Magnetic Substrates - Measurement of Coating Thickness - Magnetic Method;

ISO [8501-1](#) - Preparation of Steel Substrates Before Application of Paints and Related Products - Visual Assessment of Surface Cleanliness - Part 1: Rust Grades and Preparation Grades of Uncoated Steel Substrates and of Steel Substrates after Overall Removal of Previous Coatings;

ASTM [D 304](#) - Standard Specification for *n*-Butyl Alcohol;

ASTM [D 3734](#) - Standard Specification for High-Flash Aromatic Naphthas;

ASTM [D 4417](#) - Standard Test Methods for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel;

ASTM [D 4541](#) - Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers;

BSI [BS 4479-7](#) - Design of Articles That Are to Be Coated - Part 7: Recommendations for Thermally Sprayed Coatings;

OSHA 29 CFR 1910.133 - Occupational Safety and Health Standards - Personal Protective Equipment - Eye and Face Equipment;

SSPC [CS 23.00\(I\)](#) - Specification for the Application of Thermal Spray Coatings (Metallizing) of Aluminum, Zinc, and Their Alloys and Composites for the Corrosion Protection of Steel - NACE no. 12; AWS C2.23M/C2.23.

3 Termos e Definições

Para os efeitos deste documento aplicam-se os seguintes termos e definições.

3.1

preparo da superfície

conjunto de operações que objetivam tornar um substrato adequado a receber um revestimento. Compreende as seguintes etapas:

- a) pré-limpeza;
- b) limpeza final;
- c) obtenção de rugosidade;
- d) pré-aquecimento.

3.1.1

pré-limpeza da superfície

etapa de remoção de lama, corrosão, restos de revestimentos, incrustações insolúveis, borras e particulados grosseiros através processos mecânicos (hidrojateamento ou jateamento abrasivo seco), processos químicos (desengraxamento, decapagem ácida) ou processos térmicos (queima, chama direta, atmosfera redutora)

3.1.2

limpeza final

etapa de preparação da superfície pelo processo de jateamento abrasivo de forma a eliminar produtos que impeçam o contato entre o revestimento e o substrato. A superfície deve atingir o grau de limpeza especificado para o revestimento utilizado

3.1.3

obtenção de rugosidade no substrato

condição da superfície que permita obter a aderência adequada do revestimento ao substrato. A rugosidade a ser medida é a Ry (rugosidade máxima pico-vale)

3.1.4

limpeza a chama

a limpeza a chama da superfície durante a sua pré-limpeza consiste numa limpeza pela ação da chama e tem como objetivo proporcionar a queima e volatilização de graxas, óleos e umidades retidos junto ao substrato metálico, na hipótese de falha dos outros métodos de limpeza. Pode ser utilizado também após a limpeza final de modo a reduzir as tensões residuais (as quais influenciam a aderência e coesão da camada) e remover qualquer umidade residual. O valor de temperatura da chama depende ainda do material da camada, do tipo de substrato e de suas propriedades físicas

3.2

aspersão térmica

processo de deposição de materiais (metálicos ou não) no qual os materiais são fundidos ou superaquecidos em uma fonte de calor gerada no bico de uma pistola apropriada, por meio de combustão de gases (aspersão térmica a chama) ou arco elétrico, transportados em alta velocidade contra o substrato metálico por via gasosa

3.2.1

processo de aspersão térmica a chama convencional

processo que utiliza o arame ou pó como consumível onde os gases de combustão são o oxigênio e o acetileno. Neste processo a chama gerada pela queima dos gases de combustão é utilizada como fonte de calor para a fusão do material a ser depositado. Ar comprimido é utilizado para atomização e aspersão do material a ser depositado até a superfície a ser revestida

3.2.2

processo a arco elétrico

processo que utiliza arame sólido ou tubular como consumível. Neste processo, um arco elétrico é utilizado como fonte de calor para a fusão do material a ser depositado. O ar comprimido é utilizado para atomização e aspersão do material a ser depositado até a superfície a ser revestida

3.3

pistola de aspersão térmica

dispositivo apropriado que gera o calor necessário à fusão do material de deposição e que permite direcionar e controlar o jato do material fundido para a superfície a ser revestida

3.4

equipe de aspersão térmica

conjunto de pessoas que possuam qualificação mínima para operarem ou inspecionarem os equipamentos e as operações de jateamento e/ou aspersão térmica

3.5

Revestimento Aplicado por Aspersão Térmica (RAAT)

áreas que tenham sido jateadas e revestidas por uma equipe dentro de uma jornada de trabalho

3.6

camada

espessura de revestimento aplicado por vários passes (com adequada sobreposição) revestindo uma área previamente delimitada

3.7

passo

espessura de revestimento aplicado por pistola de aspersão térmica manuseando-se a pistola continuamente (sem descontinuidade operacional) e em uma única direção

3.8 Características das Camadas Depositadas por Aspersão Térmica

3.8.1

aderência

resistência mecânica de um revestimento efetuado por aspersão térmica compreendendo a aderência entre a camada e o substrato, bem como a coesão entre as partículas depositadas

3.8.2

teor de porosidade

a presença de porosidade é inerente ao processo de deposição de materiais por aspersão térmica afetando as propriedades físicas, como condutividade elétrica e térmica, além de reduzir a coesão e aderência das camadas ao substrato. Quando a porosidade é passante e interconectada tem-se uma redução da resistência a corrosão

3.8.3

selagem

tratamento realizado em camadas depositadas por aspersão térmica para lhes conferir melhores características, principalmente no que concerne a resistência à corrosão pelo preenchimento da porosidade residual. Os selantes são basicamente resinas sintéticas

3.8.4

espessura da camada

especificada em função do tempo de exposição do revestimento em um determinado ambiente corrosivo

3.8.5

formação de camadas intermetálicas

a deposição do alumínio em aços pode, a depender do processo de aplicação ou de tratamento térmico posterior (normalmente, acima de 600 °C), formar junto com o ferro compostos intermetálicos

3.8.6

dureza

propriedade da camada depositada que pode ser correlacionada com outras propriedades como resistência ao desgaste, fadiga e corrosão

3.9

inspetor de revestimentos por aspersão térmica

profissional qualificado como inspetor de pintura nível I, SNQC- CP (Sistema Nacional de Qualificação e Certificação em Corrosão e Proteção) conforme ABNT [NBR 15218](#) com treinamento em órgão reconhecido pelo Sistema Nacional de Qualificação e capacitado a exercer as verificações de controle de qualidade relativas a revestimento

4 Requisitos de Segurança

Caso os serviços de aspersão térmica sejam executados por empresa contratada, é responsabilidade desta empresa garantir o cumprimento de todos os requisitos de segurança estabelecidos nesta Seção.

4.1 Gases para Aspersão Térmica

4.1.1 Inspeccionar todos os equipamentos regularmente atentando para vazamentos e conexões soltas.

4.1.2 Os cilindros carregados devem ser mantidos afastados de qualquer fonte de calor. Deve-se evitar também, o seu tombamento. Quando os cilindros não estiverem sendo usados deve-se manter a válvula dos cilindros de gás fechado assim como colocar protetores nas válvulas.

4.1.3 Não pendurar a pistola de aspersão térmica no regulador ou na válvula do cilindro. Providenciar um local de fácil acesso para estocagem dos equipamentos.

4.1.4 Providenciar ventilação adequada da área de trabalho antes de abrir qualquer das válvulas de gás. Nenhum local deve ser considerado como limpo ou seguro antes de uma certificação de um inspetor de segurança.

4.1.5 Nunca apontar a mangueira de gás, de ar ou qualquer outro item pressurizado contra o corpo humano.

4.2 Precauções Durante o Jateamento

4.2.1 Cuidados devem ser tomados antes do jateamento, caso se tenha risco de fogo ou explosão. Se a estrutura a ser jateada estiver contaminada com materiais inflamáveis deve-se purgar os elementos perigosos. Antes de iniciar o trabalho de jateamento o local deve ser liberado pelo inspetor de segurança.

4.2.2 Durante o jateamento, deve ser providenciada proteção adequada para o rosto, olhos, ouvidos, pescoço e queixo do jatista devido às partículas abrasivas.

4.2.3 Óculos de proteção e protetor auricular devem ser usados por todas as pessoas próximas ao serviço de jateamento.

4.2.4 A mangueira da pistola de jateamento deve ser aterrada para dissipar cargas estáticas.

4.2.5 Nunca apontar a pistola de jateamento contra qualquer parte do corpo humano.

4.3 Pistola de Aspersão Térmica

4.3.1 As pistolas de aspersão térmica devem ser mantidas de acordo com as especificações do fabricante.

4.3.2 Não acender a pistola de aspersão térmica sem que o arame esteja no bico. Caso contrário a chama pode se mover para dentro do guia do arame, danificando o bocal, o guia, seus rolamentos e causando danos ao operador.

4.3.3 Não usar fósforos para acender a pistola de aspersão térmica já que existe o risco de queima das mãos. Recomenda-se o uso de acendedores por fricção ou iniciadores de arco. **[Prática Recomendada]**

4.4 Redução dos Riscos Respiratórios

4.4.1 Um sistema de exaustão positivo deve ser providenciado em trabalhos de aspersão térmica em áreas fechadas. Para evitar os efeitos tóxicos ou de irritação gerados por fumos, sujeira ou névoa, devido à aspersão térmica, as instalações devem ter dispositivos e Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) adequados para respiração e circulação de ar.

4.4.2 No caso dos operadores apresentarem desconfortos respiratórios, devido à respiração da névoa de material fundido gerado durante a aspersão térmica, o trabalho deve ser interrompido imediatamente de modo a se verificar o funcionamento dos sistemas de ventilação e exaustão antes do retorno à operação.

4.4.3 É obrigatório o uso de máscaras com filtros apropriados quando utilizada a aspersão térmica de ligas de zinco.

4.5 Proteção Pessoal

4.5.1 Não se deve permitir a entrada de detritos oriundos da aspersão nos olhos, ouvidos, boca e feridas abertas. Após o trabalho de aspersão térmica e antes de comer ou manusear comida deve-se lavar as mãos vigorosamente.

4.5.2 As partículas de alumínio metálico dispersas no ar são potencialmente explosivas e quando úmidas criam um risco de combustão espontânea. A ventilação deve ser providenciada para que se tenha fluxo de ar em todo o local de trabalho.

4.6 Equipamentos de Proteção Individual

4.6.1 Equipe de Aspersão Térmica

A equipe que estiver executando o trabalho de aspersão térmica deve usar roupas resistentes: ao calor, a projeções de partículas e radiações. Utilizar luvas de couro de raspa aluminizadas com punho largo e comprido, capuz, mangas, avental ou casaco e perneiras.

4.6.2 As roupas devem ser amarradas bem firmemente ao corpo principalmente em torno dos pulsos e tornozelos.

4.6.3 A equipe de jateamento (jateador, operador de máquina de jato e ajudante) deve portar EPIs de acordo com PETROBRAS [N-9](#).

4.6.4 Óculos de proteção, protetor lateral da face, protetor auricular e capacetes devem ser usados pelos operadores tanto para o jateamento quanto para a aspersão térmica. Os ajudantes devem usar óculos de proteção.

4.6.5 Recomenda-se que sejam utilizados óculos de proteção tipo visão transparente com filtro de UV. **[Prática Recomendada]**

4.6.6 Durante a aspersão térmica os óculos de proteção, protetor auricular, capacetes ou protetores de face devem estar equipados com filtros de proteção contra a radiação. Os filtros a serem utilizados devem seguir as intensidades citadas abaixo, de acordo com a OSHA 29 CFR 1910.133:

- a) pistola a chama com arame: ton. 2-4 DIN;
- b) pistola a chama para camadas de ligação e exotérmicas: ton. 3-6 DIN;
- c) pistola a chama com pó: ton. 3-6 DIN;
- d) pistola a chama para materiais cerâmicos: ton. 4-8 DIN;
- e) pistola plasma e arco-elétrico (acima de 40 kW): ton. 9 DIN;
- f) pistola plasma (acima de 60 kW): ton. 10 DIN;
- g) pistola plasma (acima de 80 kW): ton. 11 DIN;
- h) operação de refusão: ton. 4-6 DIN.

4.6.7 Os óculos de proteção devem ter ventilação indireta para eliminar o risco de entrada de partículas e reduzir o embaçamento das lentes.

4.7 Redução do Nível de Ruído

O uso de protetores de audição tipo concha juntamente com os protetores de audição do tipo cilindro de borracha ou espuma é obrigatório.

4.8 Gases

4.8.1 Nunca usar ar comprimido ou oxigênio ou gases combustíveis para a limpeza de roupas.

4.8.2 Não usar ar comprimido, oxigênio, acetileno durante o jateamento ou aspersão térmica em pressões diferentes daquelas especificadas pelo fabricante dos equipamentos.

4.9 Trabalhos em Espaços Confinados e/ou Fechados

4.9.1 Para espaços confinados (por exemplo: interior de vaso de pressão) deve ser previsto acesso para pessoal em seu interior (jativista, aplicador, inspetor). Um segundo acesso deve ser providenciado para a sua ventilação. Em ambientes fechados deve ser prevista a presença de um observador (vigia) conforme solicitado na PETROBRAS [N-2637](#).

4.9.2 Em locais fechados em que operações de jateamento estejam sendo executadas devem estar providos de equipamentos de ventilação e eliminação de gases que garantam uma vazão mínima de doze renovações de ar por hora.

4.9.3 As entradas de ar devem estar posicionadas na parte mais alta do espaço considerado e no lado oposto ao serviço de aspersão térmica. A saída de ar deve estar posicionada na parte inferior e próxima ao chão, junto à área de trabalho. O duto de exaustão deve ser largo o suficiente para que a vazão de ar necessária seja alcançada.

4.9.4 É obrigatório o uso de máscara de proteção facial total com filtros apropriados ou dispositivo de ar mandado.

4.10 Centelhamento do Alumínio

4.10.1 Recomenda-se evitar o contato de ferramentas ou componentes de aço corroído com superfícies de alumínio como aspergidas (ainda sem selagem) de modo a evitar um possível centelhamento do alumínio. **[Prática Recomendada]**

4.10.2 Recomenda-se evitar o acúmulo de pó de alumínio, pois existe a possibilidade de auto combustão. **[Prática Recomendada]**

5 Etapas de Qualificação Anterior a Execução do Trabalho

5.1 Etapa Documental

Esta etapa envolve a avaliação da seguinte documentação:

- a) procedimento(s): avaliação quanto a conformidade aos parâmetros desta Norma;
- b) qualificação do pessoal: avaliação dos currículos da mão-de-obra quanto à conformidade aos parâmetros desta Norma.

5.2 Mão de Obra

5.2.1 Seleção de Inspetor

Para qualquer serviço de aspersão térmica deve-se designar um inspetor, de acordo com o 3.9, para que este inspetor possa avaliar os serviços da empresa contratada de acordo com a seqüência mostrada no Anexo A.

5.2.2 Nível de Qualificação Necessária para a Mão de Obra

5.2.2.1 Uma lista dos funcionários que vão executar o serviço por função deve ser enviada à PETROBRAS para aprovação da fiscalização antes do início dos trabalhos. As seguintes qualificações/experiência mínima são necessárias:

- a) jatista: experiência de 1 ano na função;
- b) operador de máquina de jato: experiência de 1 ano na função;
- c) ajudante: alfabetizado e sem necessidade experiência;
- d) aplicador de revestimentos por aspersão térmica: ensino fundamental completo e experiência contínua de 1 ano na função ou 6º ano do ensino fundamental e experiência contínua de 2 anos na função;
- e) responsável técnico: profissional de nível técnico com formação na área de metalmecânica ou elétrica e experiência contínua na área de aspersão térmica de, pelo menos, 1 ano. Suas atribuições principais são: elaborar os procedimentos de aspersão térmica e responsabilizar-se pela execução dos serviços de campo.

5.2.2.2 Após 1 ano de implantação do Sistema Nacional de Qualificação de Aplicador de Revestimentos por Aspersão Térmica, deve ser exigida a qualificação de todos os profissionais independentemente da experiência anterior.

5.2.2.3 Após 2 anos de implantação do Sistema Nacional de Qualificação de Inspetor de Revestimentos por Aspersão Térmica, deve ser exigido que o responsável técnico seja qualificado por este sistema.

5.3 Elaboração/Qualificação do Procedimento para Execução do Trabalho

5.3.1 Especificações e Procedimentos dos Serviços

Devem ser elaborados, antes do início de qualquer atividade de qualificação, procedimentos e especificações dos serviços a serem executados. Estes procedimentos e especificações devem ser enviados antes do início dos serviços para a PETROBRAS e devem incluir os seguintes itens:

- a) escopo do serviço;
- b) processos de pré-limpeza (quando necessário):
 - condições ambientais;
 - processo;
 - equipamento;
 - consumíveis;
 - pontos de retenção ("hold point")/avaliação da qualidade;
- c) processo de jateamento (limpeza final):
 - equipamentos de jateamento e fornecimento de ar comprimido;
 - pressão de ar;
 - distância bico/substrato;
 - ângulo de jato;
 - tipo e granulometria do abrasivo;
 - equipamentos de exaustão de gases e poder residual;
 - faixa de rugosidade garantida (Ry);
 - número de reutilização do abrasivo;
 - método de certificação da qualidade do ar comprimido;
 - condições ambientais;
- d) processo de aspersão térmica:
 - equipamento e acessórios de aspersão térmica;
 - equipamento de fornecimento de ar comprimido;
 - número de cilindros de acetileno;
 - parâmetros de aspersão (pressão do ar comprimido, gases, distância de aspersão, ângulo da pistola, corrente, diferença de potencial, quantidade e direção de passes, sobreposição de passes, espessura mínima e máxima da camada);
 - material a ser depositado (composição química, diâmetro, estado de preservação);
 - pré-aquecimento do substrato (quando necessário);
 - tipo e fabricante do selante, tempo decorrido após a aspersão térmica e forma de aplicação;
 - forma da proteção das áreas que não são revestidas;
 - pontos de retenção para avaliação de qualidade;
- e) segurança:
 - EPIs mínimos;
 - trabalho com gases industriais;
 - trabalho em ambientes confinados;
 - exaustão/ventilação da área de trabalho;
- f) pontos de retenção/avaliação da qualidade;
- g) equipamentos para inspeção:
 - padrões visuais de jateamento abrasivo;
 - rugosímetro de agulha;
 - replica para medição de rugosidade;
 - comparador de rugosidade, quando necessário;
 - medidor de espessura;
 - instrumentos para medição de temperatura ambiente, umidade relativa e ponto de orvalho;
 - umidade relativa;
 - equipamento para ensaio de adesão e acessórios;
 - equipamento para ensaio de dobramento;
 - calibre para medição de desgaste do bico de jateamento.

5.3.2 Elaboração dos Corpos-de-Prova

Devem ser elaborados para cada esquema de aspersão os seguintes corpos-de-prova:

- a) corpo-de-prova em forma de chapa com as dimensões 500 mm x 500 mm x 3 mm (pode-se usar chapas mais grossas) para ensaio visual, medição de rugosidade, medição de espessura e adesão; o corpo-de-prova deve ser revestido numa de suas faces, com um revestimento de espessura entre 300 µm e 400 µm (de modo a evitar a penetração de adesivo até o substrato no ensaio de tração); este corpo-de-prova não deve receber a aplicação de selante;
- b) corpos-de-prova em forma de cantoneira para inspeção visual e ensaio de medição de espessura; um corpo-de-prova para cada esquema de aspersão com as dimensões mostradas na Figura 1; podem ser incluídos corpos-de-prova na forma de H (Figura 2) caso o serviço requerer; **[Prática Recomendada]**
- c) corpos-de-prova para ensaio de dobramento; cinco corpos-de-prova para cada esquema de metalização com as seguintes dimensões: 75 mm x 50 mm x 1,25 mm; tais corpos-de-prova devem ser revestidos numa de suas faces mais largas com espessura de revestimento acima do mínimo especificado por esta Norma;
- d) corpo-de-prova tubular para ensaio visual e de medição de espessura; um corpo-de-prova cilíndrico de diâmetro de 2" ou menor com comprimento de 500 mm e espessura mínima de 5 mm deve ser revestido externamente com um revestimento de espessura igual ou superior ao mínimo exigido por esta Norma;
- e) para revestimentos internos de tubulações deve-se prever um corpo-de-prova tubular bipartido longitudinalmente ponteados externamente com solda (2 meia-canas) de comprimento mínimo de 1 m e diâmetro igual ao da tubulação a ser revestida.

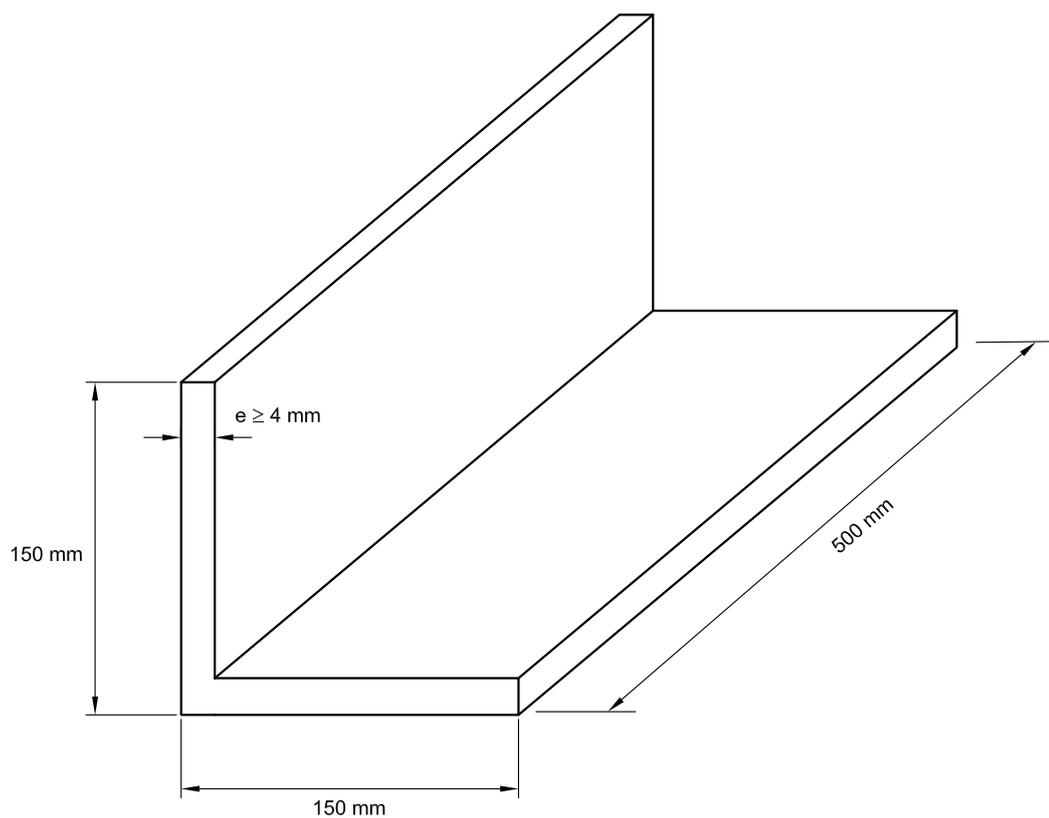


Figura 1 - Perfil Cantoneira para Ensaio de Medição de Espessura

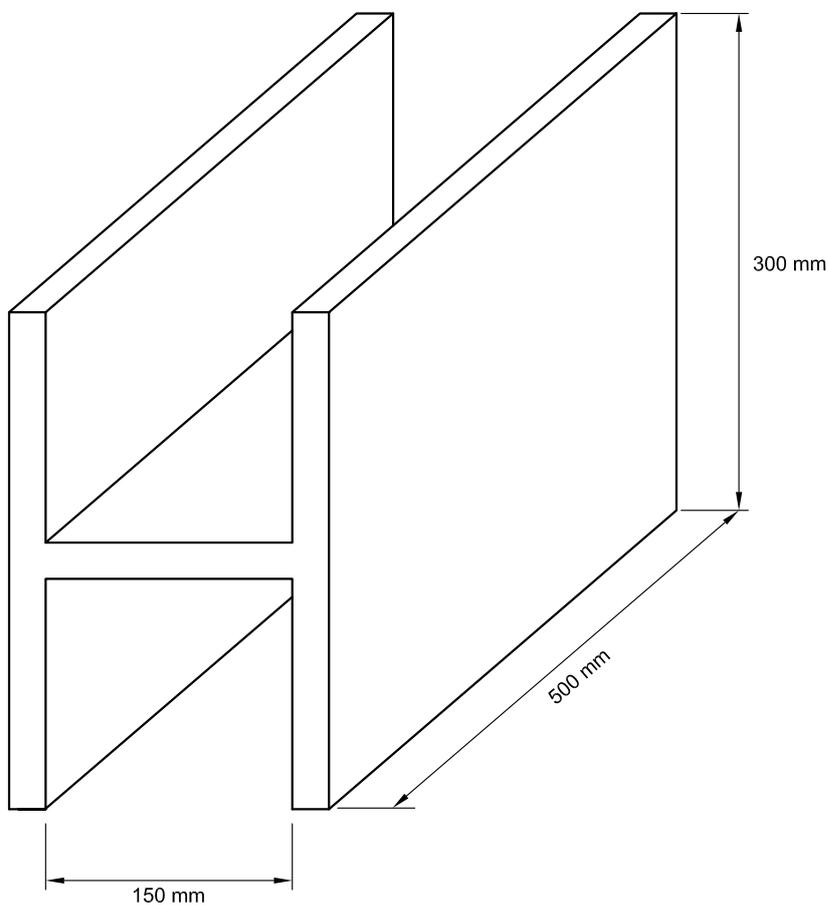


Figura 2 - Perfil H para Ensaio de Medição de Espessura

5.4 Ensaios de Qualificação

5.4.1 Exame Visual

O exame dos corpos-de-prova revestidos, antes de sua selagem, deve ter uma aparência uniforme quando observado com um aumento de 7-10x. Defeitos de superfície do RAAT não podem ser superiores a 1 mm de diâmetro e altura acima da superfície aspergida termicamente. O revestimento não pode apresentar trincas, empolamentos, descascamento do revestimento, contaminação interna (como óleo) ou a presença de pites expondo o revestimento interno ou o substrato metálico.

NOTA A inspeção visual de revestimentos internos de tubulações deve ser feito através de câmera de vídeo digital em 100 % da superfície.

5.4.2 Medição de Espessura

5.4.2.1 Equipamento de Ensaio

Para revestimentos não magnéticos (zinco, alumínio e suas ligas, aços austeníticos), usar equipamentos que se ajustem à ISO [2178](#). Os instrumentos devem ter uma precisão de medição conforme a ABNT [NBR 10443](#). A seleção do instrumento a ser usado em relação à espessura do revestimento deve ser também conforme a ABNT [NBR 10443](#).

NOTA 1 Para revestimentos magnéticos, a medição de espessura é por método destrutivo, conforme a ISO [1463](#). Pode-se, a critério da PETROBRAS, utilizar método não destrutivo comprovado.

NOTA 2 Os equipamentos e padrões utilizados no ensaio devem ter certificado de calibração/aferição rastreáveis pelo INMETRO.

NOTA 3 Os laboratórios de calibração/aferição devem pertencer a Rede Brasileira de Calibração (RBC).

NOTA 4 A aferição do instrumento de medição de espessura deve ser feita antes de cada jornada de trabalho.

5.4.2.2 Execução do Ensaio

As medições de espessura ao longo de uma linha reta imaginária devem ser feitas a cada 80 mm para a cantoneira (ver Figura 2), chapa (ver Figura 3) e tubo (ver Figura 4). A distância entre as linhas retas imaginárias para o caso de cantoneira ou chapa é de 50 mm. No caso de tubo, as linhas retas imaginárias são espaçadas em 90°.

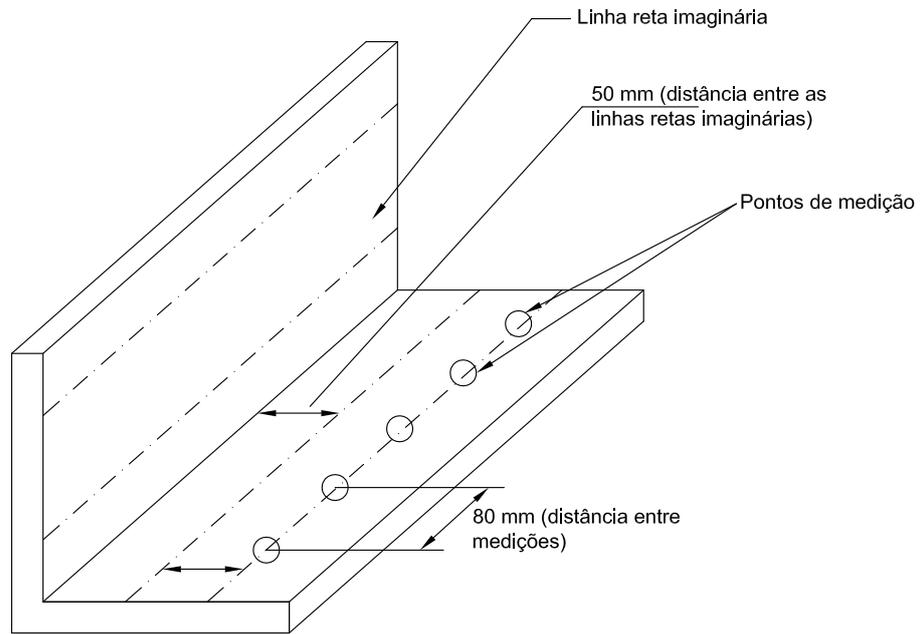


Figura 3 - Esquema de Medição de Espessura em Corpo-de-Prova Tipo Cantoneira

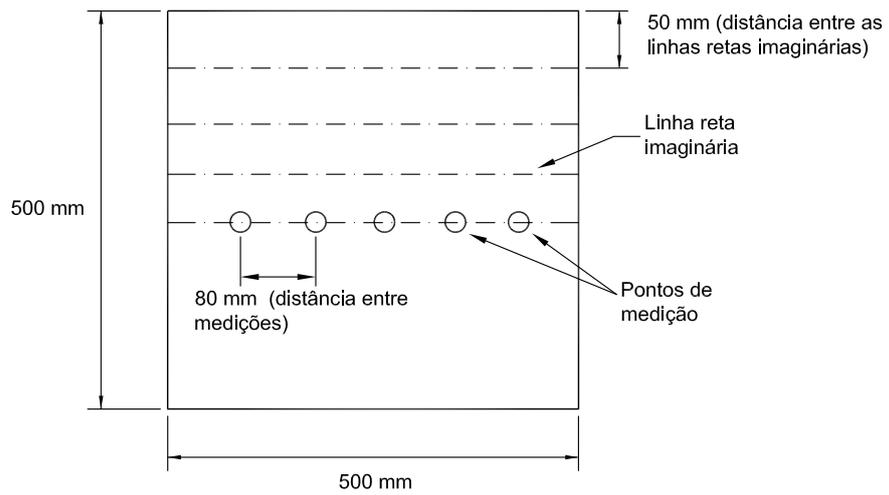


Figura 4 - Esquema de Medição de Espessura em Corpo-de-Prova Tipo Chapa

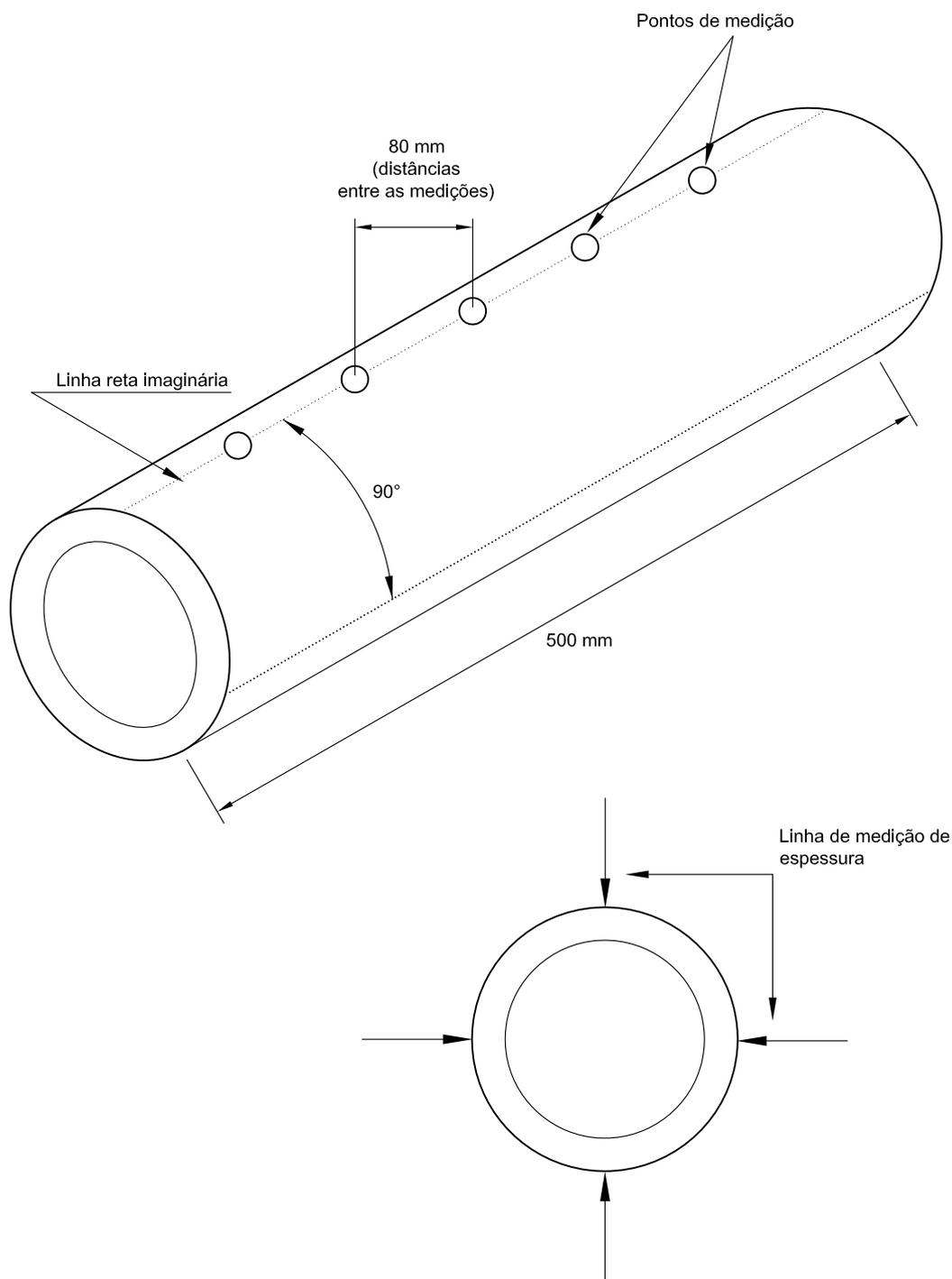


Figura 5 - Esquema de Medição de Espessura em Corpo-de-Prova Tipo Tubo

5.4.2.3 Critério de Avaliação

O critério de avaliação da espessura deve se basear na média das espessuras pontuais medidas para cada corpo-de-prova. Em cada linha imaginária de medição devem ser medidos cinco pontos a cada 80 mm. Os resultados registrados para cada corpo-de-prova devem ser avaliados conforme os seguintes critérios da Tabela 1.

Tabela 1 - Critério de Avaliação da Espessura dos Revestimentos

| Critério | Espessura do material aspergido (μm) alumínio - zinco - ligas de zinco (85Zn15Al) - aços inoxidáveis |
|--|---|
| Reprovado | < 225 |
| Aprovado | 225 - 400 |
| Sujeito ao teste da faca (ver Nota) | 400 - 500 |
| Reprovado | > 500 |
| NOTA Detalhe nas Figuras A.2, A.3 e A.4. | |

5.4.3 Ensaio de Dobramento

5.4.3.1 Equipamento de Ensaio

O ensaio de dobramento deve ser executado via um dispositivo com um mandril de diâmetro de 13 mm (ver Figura A.5). Um esquema de um dispositivo adequado é mostrado na Figura A.6, do Anexo A.

5.4.3.2 Execução do Ensaio

A face oposta a revestida deve estar em contato com o mandril. O corpo-de-prova deve ser dobrado até atingir 180°.

5.4.3.3 Critérios de Avaliação

Após o ensaio o revestimento do corpo-de-prova não pode ter indícios de trincamento grosseiro ou deslocamento [descolamento do revestimento - ver Figura 6, parte (c)]. Trincas finas e curtas ou "rabo de peixe" na região próxima ao dobramento são permitidas [ver Figura 6, parte (a)]. De forma geral, a camada é considerada reprovada quando pode se remover a camada pela incisão de uma lâmina de faca ou canivete junto às trincas existentes após o ensaio [ver Figura 6, parte (b)]. Na Tabela 2 estão os critérios de avaliação requeridos para as camadas.

Tabela 2 - Critério de Avaliação dos Ensaio de Dobramento para Aprovação das Camadas

| Condição | Aparência da superfície |
|-----------|--|
| Ideal | Sem micro trincas ou micro trincas superficiais |
| Marginal | Contém micro trincas, sem desgarramento ou deslocamento da camada |
| Rejeitada | Contém trincas e fendas com desgarramento e deslocamento da camada |

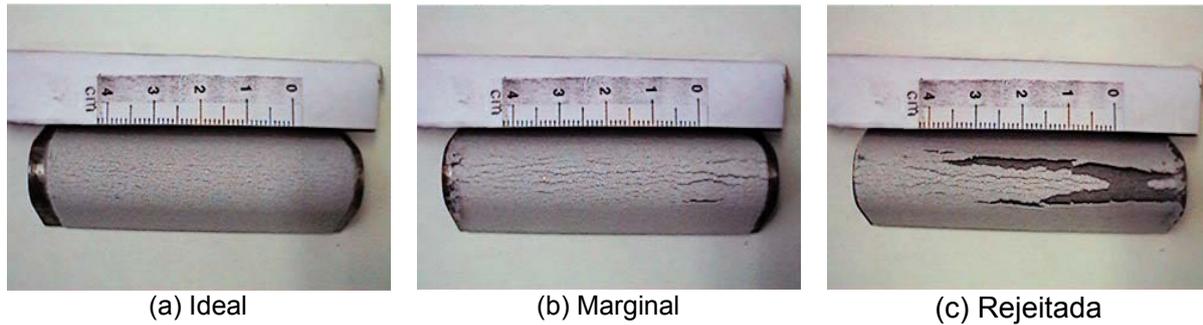


Figura 6 - Padrões para Avaliação das Trincas e Descontinuidades em Corpos-de-Prova Revestidos e Ensaçados por Dobramento

5.4.4 Ensaio de Adesão

5.4.4.1 Equipamento de Ensaio

O equipamento de ensaio deve permitir o ensaio sobre cabeça, permitir o auto alinhamento do pino-garra em relação a superfície, utilizar força motriz hidráulica ou pneumática e atender aos requisitos da ASTM [D 4541](#) ou ABNT [NBR 15877](#).

NOTA 1 Não é permitido equipamento com fixação em três pontos.

NOTA 2 Não é permitido o aquecimento da cola para acelerar sua cura.

NOTA 3 É obrigatório o uso de cola de cura imediata (por exemplo: de cianoacrilato) na forma de gel.

NOTA 4 Recomenda-se o uso de anel retenção de modo a evitar que a cola espalhe-se além da área do pino. **[Prática Recomendada]**

5.4.4.2 Execução do Serviço

Dispositivos de fixação (pinos) devem ser colados à superfície metálica revestida com adesivo adequado. Após a secagem e cura da cola, estes dispositivos devem ser tracionados até atingirem:

- a) ensaio de qualificação do revestimento: o valor de rompimento da camada;
- b) ensaio de campo do revestimento: o valor mínimo exigido, conforme Tabela 3 desta Norma.

NOTA 1 Ambos os ensaios devem ser realizados conforme a ASTM [D 4541](#) ou ABNT [NBR 15877](#).

NOTA 2 Para rompimento da camada durante o ensaio de qualificação deve ser utilizado célula de carga de, no mínimo, 35 MPa.

5.4.4.3 Pelo menos, cinco dispositivos de fixação devem ser colados a superfície revestida do corpo-de-prova. O posicionamento dos dispositivos na superfície deve obedecer ao esquema apresentado na Figura 7. Os corpos-de-prova devem ser posicionados também em regiões onde a espessura do revestimento superar o limite máximo estabelecido por esta Norma.

NOTA O ensaio de adesão deve ser realizado somente após a execução dos ensaios visuais e de medição de espessura.

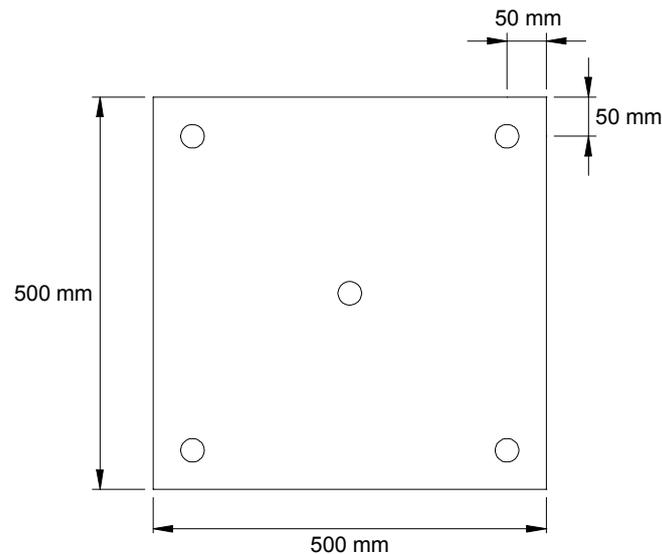


Figura 7 - Posições para Colagem dos Dispositivos de Aderência

5.4.4.4 Para tubos com diâmetro externo igual ou inferior a 4" (100 mm), utilizar pinos no ensaio de adesão que acompanhem a curvatura da superfície revestida.

5.4.4.5 Critério de Aceitação para Ensaio de Adesão

Os valores de aceitação para o ensaio de adesão são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de Adesão para Esquemas de Aspersão Térmica

| Material aspergido | Aspersão a arco elétrico | | Aspersão a Chama |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| | Valor mínimo individual (MPa) | Valor médio (MPa) | Valor mínimo individual (MPa) |
| Alumínio | 7 | 10 | 7 |
| Ligas de zinco (85Zn15Al) | 7 | 10 | 7 |
| Zinco | 5 | 7 | 5 |
| Aço inoxidáveis | 10 | 14 | 10 |

NOTA O valor médio indicado na Tabela 3 deve ser aplicado somente para qualificação de procedimentos.

5.4.5 Medida de Espessura do Selante

No corpo-de-prova tipo cantoneira (ver Figura 3) realizar novas medições de espessura exatamente nas áreas previamente já medidas, após aplicação do selante. A diferença entre as medições fornece a espessura do selante.

5.4.6 Relatório de Registro dos Resultados da Qualificação

Os resultados da aplicação de revestimentos metálicos pelo processo de aspersão térmica devem ser registrados por meio de um sistema de identificação e rastreabilidade que permita correlacionar o local de aplicação com o relatório e vice-versa. Os resultados de inspeção e testes de aceitação (de laboratório e de campo) devem ter formulário próprio (que deve conter os itens do Anexo B) e contendo, no mínimo, as seguintes informações:

- a) nome do órgão ou firma emitente;
- b) identificação numérica;
- c) identificação do equipamento ou tubulação;
- d) técnica de aplicação utilizada em todas as etapas da aplicação do revestimento;
- e) registro de resultados dos testes executados na etapa de qualificação e aplicação do revestimento;
- f) condições ambientais;
- g) laudo indicando aceitação ou rejeição;
- h) data;
- i) identificação e assinatura do inspetor de revestimento por aspersão térmica;
- j) identificação e assinatura do responsável técnico;
- k) campo para visto do fiscal do contrato ou preposto.

6 Execução do Trabalho em Campo

6.1 Avaliação das Condições de Projeto

O projeto do equipamento a ser revestido deve levar em consideração, no mínimo, os seguintes aspectos:

- a) evitar cantos vivos, raio mínimo de 2 mm;
- b) facilidade de acesso para o aplicador e uso da pistola de aspersão térmica.

NOTA Informações adicionais podem ser encontradas na BSI [BS 4479-7](#).

6.2 Avaliação da Possibilidade de Aspersão Térmica

O revestimento por aspersão térmica de um equipamento ou tubulação deve ser efetuada desde que haja facilidade de acesso, conforme descrito nos 6.2.1 a 6.2.4.

6.2.1 Deve ser observada a facilidade de acesso para utilização dos dispositivos para jateamento e aspersão térmica em equipamentos ou tubulações. Os internos dos equipamentos (vasos, torres, permutadores etc.) devem ser removidos para facilitar o preparo da superfície e a aspersão térmica dos internos e do equipamento em si. Caso a remoção seja difícil, o acesso aos internos deve ser previsto.

6.2.2 Tanto os dispositivos para jateamento quanto para aspersão térmica devem trabalhar com um ângulo de 90° com a superfície metálica; quando isto não for possível, e somente para aspersão térmica, o ângulo de aproximação mínimo deve ser igual ou superior a 60°. Para permitir o acesso ao jateamento e à aspersão térmica manual, uma distância mínima de 500 mm do bico de quaisquer das pistolas à superfície a ser metalizada tem que ser obedecida de modo a existir espaço suficiente para o aplicador e a pistola de aspersão.

6.2.3 Concavidades e pequenos trechos retos de internos de tubos de 200 mm de diâmetro só podem ser jateados e aspergidos com o uso de uma extensão.

NOTA 1 Trechos curvos de tubos e concavidades com diâmetro menor que 100 mm não apresentam bons resultados com a metalização.

NOTA 2 A metalização não se aplica, reentrâncias e frestas, as quais têm de ser modificadas ou não metalizadas.

6.2.4 Não se recomenda o uso da aspersão térmica em superfícies com alvéolos profundos de corrosão e na presença de frestas. Caso o uso da aspersão térmica seja necessário, os alvéolos de corrosão devem ser primeiramente recompostos por solda e esmerilhados antes da limpeza final. No caso de frestas, deve-se tentar eliminar as frestas.

NOTA Não há necessidade de desbaste do reforço de cordões de solda.

6.3 Pré-Limpeza da Superfície

6.3.1 Antes do preparo da superfície para a metalização, uma pré-limpeza da superfície é necessária, caso haja a presença de lama, borras de graxa ou óleo, corrosão, incrustações de qualquer tipo, restos de revestimentos e particulados grosseiros que possam ser facilmente removidos e transportados para fora do equipamento a ser revestido.

6.3.2 Para equipamentos de unidades industriais que tenham operado e que não tenham sido liberados para serviço de manutenção isentos de hidrocarbonetos, recomenda-se as seguintes práticas de pré-limpeza listadas abaixo: **[Prática Recomendada]**

- a) promover uma limpeza com hidrojateamento com detergente a alta pressão (superior a 200 MPa) de modo a remover toda corrosão e incrustações ainda presentes na superfície metálica; para casos severos pode ser acrescido um pouco de abrasivo fino (restos de oxido de alumínio marrom ou escória de cobre; abrasivos corrosíveis não devem ser usados); em alguns casos pode-se usar água quente para aumentar a ação da limpeza; após esta limpeza inicial a superfície deve ser totalmente seca; em equipamentos, esta limpeza inicial deve começar pela parte superior dos equipamentos;
- b) o jateamento convencional a seco pode também ser uma alternativa ao hidrojateamento a alta pressão; a limpeza deve ser de no mínimo grau Sa 2;
- c) a limpeza com solventes ou à quente (vapor ou chama, neste caso, com a necessidade de análise de risco nível 2 para atividades realizadas dentro de áreas industriais) é indicada para a remoção de óleo e graxa caso o hidrojateamento ou o jateamento a seco não seja eficaz; uma limpeza mecânica final deve ser executada para remover os produtos de combustão, caso necessário; a limpeza à quente deve ser executada caso a limpeza com solventes falhe; a limpeza à quente deve ser evitada caso se esteja realizando o reparo de área já metalizada, ou seja, parte do revestimento existente deve permanecer, ou caso o aquecimento resulte na evolução de substâncias tóxicas e/ou inflamáveis.

NOTA Os solventes recomendados para a limpeza da superfície são o álcool *n*-butil (ver ASTM D 304) ou a nafta aromática (ver ASTM D 3734). Os solventes inflamáveis e tóxicos devem ser utilizados somente em espaços ventilados. Não devem ser usado próximo a chamas, serviços de jateamento ou aspersão térmica. O contato prolongado com a pele não deve ser permitido. Sintomas de irritação dos olhos e tonteira são sinais de ventilação inadequada e concentração perigosa.

6.3.3 Para áreas que tenham operado em contato com hidrocarbonetos, deve-se antes do início do jateamento abrasivo (para a limpeza final) realizar uma inspeção da superfície no que concerne a presença residual de contaminantes (óleo, graxa). Para tal, deve-se após a limpeza do trecho contaminado executar um dos dois testes abaixo:

- a) teste de evaporação do solvente: aplicar nas áreas suspeitas de contaminação (pites e frestas onde se tenha trechos corroídos, áreas com depressão onde possa ocorrer acumulação de contaminação) gotas de solvente (como por exemplo, o triclorometano); um anel se forma após a evaporação se houver a presença de contaminação por óleo ou graxa;

- b) teste da chama: utilizar um maçarico com chama redutora aquecendo o metal a uma temperatura em torno de 110 °C; qualquer contaminação de óleo ou graxa se torna visualmente aparente. Para o teste de chama efetuar a análise de risco nível 2 para atividades realizadas dentro de áreas industriais.

NOTA Caso a contaminação persista (após a pré-limpeza) deve-se repetir a limpeza até que o teste seja aprovado.

6.3.4 Não é permitido o uso do jateamento com areia seca ou úmida para a pré-limpeza.

6.3.5 Respingos de solda que não possam ser retirados por jateamento devem ser primeiramente removidos por meio mecânico (escova rotativa de aço inoxidável).

6.4 Requisitos Necessários para a Limpeza Final antes da Aspersão Térmica

O jateamento abrasivo deve ser efetuado conforme as prescrições descritas nos 6.4.1 a 6.4.5.

6.4.1 Condições Ambientais

O jateamento abrasivo deve ser executado somente se a temperatura da superfície a ser aspergida estiver ao menos a 5 °C acima da temperatura de orvalho e, no mínimo, 5 °C de temperatura ambiente. O jateamento abrasivo para limpeza final não deve ser executado em tempo chuvoso e nem quando a umidade relativa do ar estiver superior a 85 %. Para a monitoração desses parâmetros é necessária a presença de um pirômetro de contato e um higrômetro.

NOTA1 Para ambientes confinados pode-se aplicar revestimento com umidade relativa do ar superior a 85 %, caso se garanta localmente uma umidade aceitável (por exemplo: através da injeção de ar comprimido seco).

NOTA 2 Para RAAT aplicado em soldas circunferências, em barcos de lançamentos de tubulações submarinas, caso a umidade relativa for maior que 85 %, deve ser realizado um pré-aquecimento de 50 °C.

6.4.2 Ar Comprimido

6.4.2.1 O ar comprimido usado no jateamento deve ser isento de água ou óleo. Durante a limpeza final o sistema de ar comprimido deve estar equipado com um filtro e um desumidificador para manter o ar seco e limpo. Esta verificação deve ser efetuada antes do início do jateamento e após 15 minutos do início do jateamento. Caso seja detectada a presença de óleo ou água após iniciado o jateamento, a área jateada deve apresentar manchas escuras, devendo ser refeita.

6.4.2.2 O suprimento de ar comprimido deve manter uma pressão mínima de 85 psi para o abrasivo óxido de alumínio.

NOTA Recomenda-se avaliar a perda de carga entre o equipamento e o bico de jateamento.
[Prática Recomendada]

6.4.2.3 A qualidade do ar a ser usado no jateamento e aspersão térmica deve ser avaliada de acordo com o procedimento abaixo:

- a) deixar o sistema de ar comprimido atingir as condições operacionais para remover qualquer condensação acumulada no sistema;
- b) conectar o coletor (plástico rígido e transparente de espessura aproximadamente de 6 mm) a um suporte rígido evitando contato pessoal com a corrente de ar;
- c) posicionar o coletor a uma distância de 600 mm da descarga da corrente de ar;

- d) ajustar a pressão do ar de forma que o coletor permaneça intacto durante o teste e deixe o ar fluir durante 1 minuto pelo coletor;
- e) examinar visualmente o coletor atentando para a presença de óleo e/ou água ou ambos;
- f) repetir o mesmo procedimento descrito em e) usando papel ou tecido absorvente branco e limpo;
- g) observar qualquer molhamento ou manchamento, que são os indicadores da contaminação do ar.

6.4.3 Marcação e Proteção das Regiões a Serem Jateadas

A delimitação e a proteção ou blindagem das regiões em torno da área a ser jateada (e aquelas que não são revestidas ou que não podem ser danificadas) deve ser executada utilizando-se chapas metálicas ou coberturas plásticas fixadas com fitas adesivas especiais, em duas camadas, com a segunda camada de fita perpendicular à primeira. Devem resistir às partículas de abrasivo e à operação de aspersão térmica como também garantir que as partículas de abrasivo ou de material fundido não danificam nem se depositam nessas regiões.

NOTA O revestimento de alumínio deve ficar a 25 mm de juntas a serem soldadas.

6.4.4 Equipamento de Jateamento

O bico da pistola de jateamento deve ter um desgaste máximo de 50 % do seu diâmetro interno. Após atingir este limite o bico da pistola deve ser substituído. No campo não se deve usar equipamentos de jateamento por sucção, devendo-se usar somente os equipamentos por pressão direta que são os mais eficientes para remoção de cascas de corrosão e carepas de laminação.

6.4.5 Abrasivo

6.4.5.1 O abrasivo para a limpeza final deve ser o óxido de alumínio marrom (95 % de pureza), não sendo permitido o uso de qualquer outro tipo de abrasivo para a etapa final de preparo da superfície, ou anterior ao início da aspersão térmica.

NOTA A critério da PETROBRAS pode ser utilizado na limpeza final abrasivo granalha de aço angular, desde que atendido o 6.4.5.6 e que o abrasivo não esteja submetido a atmosfera marinha. **[Prática Recomendada]**

6.4.5.2 O abrasivo utilizado deve estar seco, limpo, pontudo e cortante, isento de poeira, óleo, carepa, ferrugem e outros contaminantes, como sais solúveis e excesso de finos.

6.4.5.3 A granulometria do abrasivo antes do início do jateamento deve estar compreendida entre 0,5 mm e 1,6 mm. Além disso, cerca de 30 % a 40 % do abrasivo em volume deve ter grãos acima de 1 mm. Esta verificação deve ser executada através de uma análise granulométrica em bandejas com peneiras segundo a ABNT [NBR NM ISO 3310-1](#).

NOTA Recomenda-se a utilização de um abrasivo de grana 16. **[Prática Recomendada]**

6.4.5.4 Recomenda-se uma inspeção de recebimento do óxido de alumínio marrom quanto a sua angulosidade e geração de finos, o que pode ser executado esfregando-se uma pequena amostra do abrasivo nas mãos, analisando-a em um microscópio portátil com aumento de 30 vezes e verificando se há geração de finos em excesso. **[Prática Recomendada]**

6.4.5.5 A presença de contaminação de óleo no abrasivo pode ser verificada enchendo-se uma garrafa transparente até a metade com abrasivo, completando-se o restante com água destilada e sacudindo a garrafa. Se algum indício de óleo for observado o abrasivo está contaminado devendo ser rejeitado para a limpeza final da superfície. Neste caso, deve-se repetir o teste com um segundo lote do abrasivo após a limpeza do equipamento de jateamento (principalmente o recipiente e as mangueiras).

NOTA Caso algum lote seja rejeitado pela presença de óleo, a fonte de contaminação deve ser identificada para evitar contaminação de novos lotes.

6.4.5.6 A reutilização ou o reaproveitamento do abrasivo na etapa de limpeza da superfície para o revestimento externo de equipamentos de processo é permitida desde que os seguintes itens abaixo sejam seguidos:

- a) o sistema de reaproveitamento deve eliminar a possibilidade de contaminação do abrasivo com óleo; o teste de presença de óleo (ver 6.4.5.5) deve ser feito com periodicidade máxima de 1 dia;
- b) o abrasivo reutilizado mantém-se dentro das características de granulometria e angulosidade desejadas;
- c) limita-se a três vezes o número de reutilização do abrasivo.

NOTA 1 Se o abrasivo para pré-limpeza for recirculado, lotes do abrasivo devem ser inspecionados após utilização (com lupa de aumento de sete vezes a dez vezes) de forma a se verificar e remover, antes da limpeza da chapa, qualquer indício da presença de óleo, graxa, contaminação química, sal ou outros contaminantes. Além disso, o abrasivo deve ser peneirado (tendo 80 %, no mínimo, da granulometria original) para remoção de finos de forma a manter a sua habilidade de corte e limpeza.

NOTA 2 Recomenda-se avaliar o lote do abrasivo com o uso de um ímã no caso do óxido de alumínio. A presença de uma quantidade expressiva de material magnético reprova o uso do lote. **[Prática Recomendada]**

6.4.5.7 Não é permitida a recirculação ou o reaproveitamento do abrasivo na etapa de limpeza final da superfície para o revestimento interno de equipamentos de processo e superfície interna de tubulações.

6.5 Jateamento Final da Superfície

O jateamento final tem o objetivo de conferir rugosidade e grau de limpeza adequado para a aplicação dos revestimentos por aspersão térmica.

6.5.1 A superfície a ser jateada deve ser preparada, de acordo com a ISO [8501-1](#):

- a) grau Sa 3 para revestimento interno de equipamentos;
- b) grau Sa 3, sempre quando utilizado o processo a chama;
- c) grau Sa 2 1/2 para revestimentos de áreas externas somente quando utilizado o processo a arco.

NOTA 1 Lupas (sete vezes a dez vezes) podem ser utilizadas caso se tenha dúvidas em relação a presença de contaminantes e impregnação.

NOTA 2 Recomenda-se comparar a região jateada com uma pequena área vizinha jateada por mais tempo. Se houver alguma diferença significativa o jateamento da região principal ainda é insuficiente. **[Prática Recomendada]**

NOTA 3 A cor da superfície jateada pode variar de acordo com o abrasivo usado e com o estado inicial da superfície. Fotografias ou padrões visuais podem ser usados para melhor definir as características de preparo da superfície.

6.5.2 Um tempo excessivo de jateamento em uma mesma região pode resultar numa superfície de textura indesejável além de gerar quantidades desnecessárias de resíduo. Um tempo de 3 segundos a 4 segundos é normalmente suficiente para conferir a rugosidade especificada. Um jateamento além do necessário tem como resultado o aumento do desgaste do abrasivo com conseqüente aumento do teor de finos.

6.5.3 O jato deve estar a um ângulo de $90^\circ \pm 30^\circ$ contra a superfície. A distância do jato ao substrato deve ser de 100 mm a 200 mm movendo-se o bico do jato de um lado para o outro.

6.5.4 A rugosidade da superfície jateada deve estar entre $75 \mu\text{m}$ a $120 \mu\text{m}$ (valor de rugosidade R_y ou valor da distância pico/vale). A medida deve ser feita conforme:

- a) ASTM D 4417 método B ou ABNT NBR 15488 (com medidor de perfil de rugosidade tipo agulha): para superfícies planas ou convexas;
- b) ASTM D 4417 método C ("extra coarse"): para superfícies côncavas ou para superfícies planas com irregularidades superficiais (neste caso, desde que as irregularidades superficiais permitam a aplicação adequada da fita plástica de réplica metalográfica);
- c) onde for impossível medir com os métodos acima, utilizar comparadores de rugosidade conforme ASTM D 4417 método A (Figura A.8 desta Norma).

6.5.5 Devem ser realizadas três medidas de rugosidade a cada 10 m^2 de área jateada contínua. Cada medida deve abranger cinco medições (feitas com um dos métodos descritos no 6.5.4) em uma área de $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$; sendo uma medição no centro geométrico e outras quatro medições em cada diagonal da área.

NOTA Quando reutilizado o abrasivo, aumentar o número de medidas para cinco medidas a cada 1 m^2 de área jateada contínua.

6.5.6 A faixa ideal de pressão de jato requerida para superfícies de aço, sendo o abrasivo óxido de alumínio marrom é de, no mínimo, 85 psi.

6.5.7 Para chapas metálicas com espessura inferior a 4 mm uma redução da pressão pode ser necessária assim como a especificação de abrasivos mais finos e redução do tempo de jateamento e ângulo de incidência. Na presença de carepa de laminação firmemente aderente um esmerilhamento prévio ou uma decapagem química são recomendados.

6.5.8 Os resíduos de abrasivo e sujeira gerados durante a limpeza final e que ainda persistam devem ser removidos com jato de ar comprimido antes da metalização.

6.5.9 Caso seja observada qualquer deterioração da superfície jateada, o preparo da superfície deve ser repetido. Caso apareçam pontos isolados de corrosão em mais de 10 % da área esta deve sofrer nova pré-limpeza, com método mais eficaz que a anteriormente usada para remover a contaminação ainda incrustada na superfície metálica.

NOTA 1 No caso de superfícies já contaminadas (óleo, graxa, ferrugem, sujeira, produto de corrosão) recomenda-se um intervalo de tempo de 24 horas entre a pré-limpeza e o jateamento final. **[Prática Recomendada]**

NOTA 2 As partes jateadas devem ser manuseadas utilizando-se luvas limpas até que a metalização e selagem estejam completas.

6.6 Aplicação do Revestimento por Aspersão Térmica

6.6.1 Pistolas para Aspersão Térmica

6.6.1.1 Tanto nos processos a chama quanto no processo a arco deve-se testar o bom funcionamento da pistola e a regulagem dos parâmetros em um teste preliminar de acordo com o procedimento qualificado.

6.6.1.2 Recomenda-se operar a pistola metalizando uma superfície qualquer por 3 minutos sem que ocorram respingos ou apagamento do arco ou chama. **[Prática Recomendada]**

6.6.2 Escolha do Processo de Aplicação

Deve-se sempre utilizar o processo a arco pelo fato de possuir melhor aderência que o processo a chama, além de possuir maior produtividade para grandes extensões a serem revestidas. As únicas exceções ocorrem para o uso em reparos localizados, com autorização da PETROBRAS, e no caso de soldas circunferenciais em barcos de lançamento de linhas submarinas.

6.6.3 Espessura do Revestimento

Deve ser conforme os critérios estabelecidos na Tabela 1. Para regiões curvas com raio de curvatura máximo de 10 mm, cantos vivos ou próximo a extremidades livres, adotar a espessura média entre 225 µm e 275 µm.

6.6.4 Arame para Aspersão Térmica

O arame usado para aspersão térmica deve ter uma superfície limpa sem carepa, corrosão, oxidação, óleo ou outro material que afete adversamente a aplicação, a densidade ou a adesão do revestimento. O arame deve ter composição e qualidade uniforme sem a presença de rebarbas, entalhes, trincas ou costuras. Os arames quando enrolados devem apresentar-se sem dobras ou curvaturas acentuadas. Essas curvas não devem abrir-se demasiadamente na condição amarrada. No enrolamento o arame não deve ser torcido. O arame deve desenrolar livremente sem se retorcer e sem formar dobras ou lascas que impeçam a sua passagem pelo bico da pistola de aspersão térmica. O diâmetro das espirais retiradas deve ser igual ou superior ao diâmetro do corpo da bobina, todavia não deve ultrapassá-lo em mais de 20 %. As espiras desenroladas devem ficar, se possível, em local plano. Os arames não podem conter qualquer tipo de revestimento metálico externo, como por exemplo, um cobreamento.

6.6.4.1 Alumínio

O alumínio utilizado deve ter pureza mínima de 99,5 %, de acordo com a SSPC [CS 23.00\(I\)](#).

6.6.4.2 Zinco

A pureza mínima do zinco é de 99,9 %, de acordo com a SSPC [CS 23.00 \(I\)](#).

6.6.4.3 Aço Inox AISI 316

A composição desse aço deve ser Fe 17Cr 12Ni 2.5Mo 2Mn 1S 0.08C.

6.6.5 Pré-Aquecimento

6.6.5.1 Pré-aquecimento do substrato à temperatura da ordem de 100 °C. Este pré-aquecimento deve ser feito sempre que for utilizado o processo a chama. O aquecimento deve ter a chama neutra podendo-se utilizar a própria pistola de aspersão térmica movendo-a rapidamente pela superfície antes da aplicação da camada.

NOTA Em espaços confinados onde o pré-aquecimento torna a permanência humana no ambiente inviável, utilizar o processo a arco.

6.6.5.2 Para o processo a arco o pré-aquecimento não é necessário, podendo, entretanto, ser usado antes da aplicação da primeira camada de alumínio.

6.6.5.3 Para o processo a chama pode se restringir ao primeiro 0,1 m² a 0,2 m². No caso da aspersão térmica de zinco ou liga 85Zn15Al ou aço inox não há necessidade de pré-aquecimento.

6.6.6 Método de Aplicação

6.6.6.1 A aspersão térmica deve ser feita em passes uniformes (de mesma largura) e com sobreposição de 1/3 a 1/2 do passe para garantir a uniformidade de cobertura (ver Figura D.1 do Anexo D).

6.6.6.2 As camadas (no mínimo, duas camadas) devem ser cruzadas (ver Nota) e os passes aplicados sempre que possível no sentido pés/cabeça/pés e esquerda/direita/esquerda (ver Figura D.2 do Anexo D). A espessura dos passes deve ser mantida a mais fina possível de forma a aumentar a aderência e coesão entre camadas.

NOTA Nem sempre a aplicação cruzada das camadas gera o melhor resultado. A aplicação utilizando arames de maior diâmetro (3,2 mm e 4,8 mm) gera uma espessura acima do desejável no cruzamento dos passes. Para arames de diâmetro de 3,2 mm e 4,8 mm, recomenda-se passes paralelos com sobreposição conforme 6.6.6.1 desta Norma.
[Prática Recomendada]

6.6.6.3 O ângulo do jato de material fundido não pode ser inferior a 60°, devendo estar entre 90° ± 30°. A distância do bico da pistola à peça deve ser especificada pelo fabricante do equipamento de aspersão; na falta da informação do fabricante utilizar, para superfícies externas:

- a) 130 mm a 180 mm (processo a chama);
- b) 150 mm a 200 mm (processo a arco).

6.6.6.4 Para geometrias complexas (flanges, válvulas, curvas, vigas I e H) cuidados extras devem ser tomados para se evitar uma metalização excessiva, tendo-se controle rígido da espessura.

6.6.6.5 A pistola de aspersão térmica, no caso do processo a chama, deve trabalhar sempre com chama neutra, cone branco e brilhante. Medidores de vazão de oxigênio e acetileno são necessários.

6.6.7 Intervalo de Aplicação

6.6.7.1 Do final do jateamento abrasivo até o término da primeira camada aspergida termicamente não devem decorrer mais de 2 horas, tempo suficiente para se iniciar um processo de oxidação. Caso contrário, a superfície deve ser novamente jateada. O ideal é que a aplicação do revestimento metálico seja executada até 30 minutos após o término do jateamento da área preparada.

6.6.7.2 Do final do jateamento da área preparada até o final da aspersão térmica não devem decorrer mais que 6 horas.

6.6.7.3 Não é permitida manutenção de uma fina camada de revestimento por mais de 6 horas, tempo máximo permitido para término de aplicação de todas as camadas.

7 Selantes

7.1 O uso de selantes após a metalização é obrigatório no caso de revestimentos expostos a corrosão marinha.

NOTA Para tubulações submarinas com lançamento em balsas onde o RAAT é aplicado nas soldas circunferenciais, não é necessário selante.

7.2 Devem ser aplicados o mais rápido possível e antes que qualquer oxidação visível seja notada.

NOTA Recomenda-se usar para inspeção lupa com sete vezes a dez vezes de aumento. **[Prática Recomendada]**

7.3 Caso exista a suspeita da presença de umidade na superfície metalizada a superfície deve ser aquecida até 100 °C (com chama neutra) para remoção da umidade antes da selagem em si.

NOTA Sempre que possível, recomenda-se o aquecimento pela face oposta à superfície metalizada de forma a minimizar a oxidação do revestimento antes da selagem. **[Prática Recomendada]**

7.4 Os tipos de selantes que devem ser utilizados estão descritos nos 7.4.1 a 7.4.3.

7.4.1 Para baixas temperaturas, máximo 120 °C:

- a) verniz epóxi poliamina ou poliamida ou tinta PETROBRAS **N-2198** epoxi isocianato:
 - sólidos em volume: 30 %;
 - tempo de secagem ao toque: 20 minutos (mín.);
 - tempo de secagem para repintura: 6 horas (mín.) - 72 horas (máx.);
 - tempo de vida útil da mistura a 25 °C: 5 horas (mín.);
 - viscosidade nº 4 ("ford cup"): 15 segundos (mín.) - 25 segundos (máx.);
- b) característica da película seca deve ser:
 - espessura por camada: 15 µm (mín.) - 20 µm (máx.).

7.4.2 Para altas temperaturas, acima de 120 °C e até 650 °C:

- a) verniz de silicone:
 - sólidos em volume: 30 %;
 - tempo de secagem ao toque: 20 minutos (mín.);
 - tempo de secagem para repintura: 6 horas (mín.) - 72 horas (máx.);
 - tempo de vida útil da mistura a 25 °C: 5 horas (mín.);
 - viscosidade nº 4 ("ford cup"): 15 segundos (mín.) - 25 segundos (máx.);
- b) característica da película seca deve ser:
 - espessura por camada: 15 µm (mín.) - 20 µm (máx.).

7.4.3 Para superfícies que devam receber cor, o selante a ser usado é o epóxi fenólico:

- a) sólidos em volume: 30 %;
- b) tempo de secagem ao toque: 20 minutos (mín.);
- c) tempo de secagem para repintura: 6 horas (mín.) - 72 horas (máx.);
- d) tempo de vida útil da mistura a 25 °C: 5 horas (mín.);
- e) viscosidade nº 4 ("ford cup"): 15 segundos (mín.) - 25 segundos (máx.);
- f) característica da película seca deve ser:
 - espessura por camada: 15 µm (mín.) - 20 µm (máx.).

7.5 A selagem deve ser executada num tempo máximo de 8 horas após o término da aplicação do revestimento para revestimentos à base de zinco e 24 horas para aqueles à base de alumínio.

NOTA Para aplicação de revestimentos em tubulações, com processo semi-automatizado, a selagem deve ser realizada com a superfície metalizada ainda quente, mas abaixo de 60 °C para evitar evaporação excessiva do solvente.

7.6 A avaliação da selagem após aplicação deve ser feita visualmente e através da medição da espessura. Esta medição da espessura deve ser feita em uma área previamente determinada de 10 cm² após a aspersão térmica e após aplicação do selante.

7.7 Camadas metalizadas com alumínio não devem ser pintadas. A espessura máxima de selante deve ser de 25 µm.

NOTA No caso específico de equipamentos ou tubulações em que seja necessária a identificação através de cores a espessura máxima, acima da superfície de alumínio já selada, deve ser de 75 µm.

7.8 Camadas metalizadas com zinco devem ser, primeiramente, seladas e depois pintadas.

7.9 Quando forem executados testes de aderência no campo, o selante só deve ser aplicado após a execução do teste.

8 Controle da Qualidade em Campo

8.1 Controle da Qualidade do Processo de Aspersão Térmica

8.1.1 Antes do início de cada dia de trabalho e para cada tipo de revestimento, um cupom para o teste de dobramento e ensaio visual deve ser preparado e testado. Cupons adicionais ou testes adicionais podem ser necessários quando vários tipos de componentes ou equipamentos estão sendo revestidos. No caso de falha, a causa deve ser identificada e o problema corrigido executando-se, então, um novo teste.

8.1.2 Inspeção Visual dos Cupons de Dobramento

Cada cupom fabricado deve ser inspecionado visualmente com um aumento de sete vezes a dez vezes, de acordo com o 5.4.3. O revestimento não deve conter empolamentos, partículas soltas assim como não deve apresentar trincas, porosidade excessiva ou cavacos que exponham o substrato metálico. Nos trechos onde forem encontrados esses defeitos assim como áreas com espessura elevada (ver 5.4.2.3) deve-se executar o ensaio de "arrancamento pela faca" ou o ensaio de adesão utilizando equipamentos portáteis.

8.2 Controle da Qualidade do Revestimento Aplicado

Para cada área contínua revestida em uma jornada de trabalho devem ser feitos ensaios/avaliações descritos nos 8.2.1 a 8.2.6.

8.2.1 Inspeção Visual da Superfície Jateada

De acordo com o 6.5.1 desta Norma.

8.2.2 Medição da Rugosidade

Devem ser realizadas três medidas de rugosidade a cada 10 m² de área metalizada contínua. Cada medida deve abranger cinco medições (feitas com um dos métodos descritos abaixo) em uma área de 200 mm x 200 mm; sendo uma medição no centro geométrico e as outras quatro medições em cada diagonal da área. A medida deve ser feita conforme:

- a) ASTM [D 4417](#) método B ou ABNT [NBR 15488](#) (com medidor de perfil de rugosidade tipo agulha): para superfícies planas ou convexas;
- b) ASTM [D 4417](#) método C (“extra coarse”): para superfícies côncavas ou para superfícies planas com irregularidades superficiais (neste caso, desde que as irregularidades superficiais permitam a aplicação adequada da fita plástica de réplica metalográfica);
- c) onde for impossível medir com os métodos acima, utilizar comparadores de rugosidade conforme ASTM [D 4417](#) Método A.

8.2.3 Inspeção Visual do Revestimento Aplicado

De acordo com o 5.4.1 desta Norma.

8.2.4 Medição da Espessura

A espessura de áreas revestidas contínuas devem ser avaliadas conforme o 6.6.3 devendo estar de acordo com os limites especificados para cada meio corrosivo. Para áreas contínuas onde não há uma mudança abrupta de geometria ou de forma (como por exemplo: tubulações, vasos de pressão e chaminé) deve-se adotar os 8.2.4.1 e 8.2.4.2. Para áreas contínuas onde há uma mudança abrupta de geometria ou de forma (como por exemplo: válvula, flange, tês, curvas, bombas, acessórios de linhas flexíveis, queimadores e suportes em geral) deve-se adotar o 8.2.4.3.

8.2.4.1 Áreas Contínuas entre 1 cm² até 1 m²

Os equipamentos para medição de espessura devem ser baseados nos métodos magnéticos utilizando cabeçotes pequenos para possibilitar medições pontuais. Devem ser realizadas, no mínimo, três medidas de espessura após a aplicação do revestimento, dando-se preferência a regiões com mudança de plano. Caso a espessura medida após a aplicação esteja superior ao especificado para o meio em questão deve-se realizar o ensaio de “arrancamento pela faca” (ver Anexo A). No caso de falha neste teste, o revestimento deve ser refeito.

NOTA Cada medida é a média de cinco medições de espessura em uma área de 9 cm².

8.2.4.2 Áreas Contínuas Superiores a 1 m²

Devem ser realizadas no primeiro m² após a última camada, cinco medidas, dando-se preferência a regiões onde se tenha mudança de planos. Novo conjunto de cinco medidas deve ser executado a cada 2 m², dando-se preferência a regiões com mudança de plano.

NOTA Cada medida é a média de cinco medições de espessura em uma área de 9 cm².

8.2.4.3 Áreas com Variações de Geometria/Forma

Devem ser realizadas a cada m² após a última camada, vinte e cinco medições, dando-se preferência a regiões onde se tenha mudança de planos.

NOTA Em estruturas tubulares devem ser realizadas, pelo menos, cinco medições em cada segmento.

8.2.5 Ensaio de Adesão no Campo

8.2.5.1 O ensaio de arrancamento pela faca consiste de um corte curto de 40 mm de comprimento ao longo do RAAT, antes da sua selagem, a cada metro quadrado, atingindo o substrato metálico. Este teste pode ser executado tanto em corpo-de-prova quanto na própria estrutura revestida. A descrição completa do teste está na Nota da Figura A.2. O teste é considerado não destrutivo caso o revestimento tenha sido corretamente aplicado. Este teste deve ser executado no primeiro m² e a cada 20 m². Caso o teste tenha sido aprovado, aplicar uma última camada de selante por cima da região ensaiada. Este teste é obrigatório para espessuras elevadas (ver 5.4.2.3).

8.2.5.2 Como alternativa, pode ser executado o ensaio de adesão por tração, com equipamentos portáteis pneumáticos ou hidráulicos devidamente calibrados e escolhidos de comum acordo entre a firma Contratada e a PETROBRAS, seguindo o especificado pela ASTM D 4541 ou ABNT NBR 15877. Para tal um suporte de alumínio ou aço é colado na superfície do revestimento. Após a cura do adesivo o suporte é tracionado até atingir o valor mínimo individual (ver Tabela 3). Uma falha adesiva inferior a este valor indica um revestimento de baixa adesão sendo, portanto reprovado. A área de teste pode ser recoberta com o selante e pintura final caso não ocorra falha.

8.2.5.3 Caso o revestimento não rompa no valor mínimo individual (ver Tabela 3) o pino de tração deve ser retirado aquecendo-se a cola. Pode-se utilizar um alicate de aquecimento como mostrado na Figura A.7. Não arrancar o pino por meio mecânico.

8.2.6 Inspeção Visual do Selante

Nas áreas revestidas, após aplicação do selante, deve ser realizada uma inspeção visual verificando-se a rugosidade da superfície. A superfície deve apresentar-se rugosa; sendo que uma superfície lisa é indicativo de uma espessura do selante acima do requerido.

9 Manutenção e Reparo

9.1 Reparo após a Aplicação do Revestimento em Superfícies Novas ou em Estoque

9.1.1 Os procedimentos de manutenção e reparo dependem basicamente da área a ser reparada ($\leq 0,1 \text{ m}^2$ ou $> 0,1 \text{ m}^2$) assim como o grau de dano e abrasão do revestimento (substrato do aço exposto ou não). A Tabela 4 apresenta as etapas a serem seguidas para cada um dos casos.

NOTA Em algumas situações reparos simples e temporários precisam ser executados, como, por exemplo, uma pintura em trechos onde a metalização foi danificada e o substrato está exposto, até que um reparo definitivo do revestimento possa ser executado.

Tabela 4 - Procedimento para Execução de Reparo de Áreas Revestidas Danificadas

| Item | Ações a serem tomadas | Revestimento exposto-substrato não exposto | | Substrato exposto | |
|---|--|--|--------------------------|-------------------|------------------------|
| | | Área $\leq 0,1 \text{ m}^2$ | Área $> 0,1 \text{ m}^2$ | Reparo da pintura | Reparo do revestimento |
| 9.1.3 | Limpeza por solvente. | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9.1.4 | Raspagem do trecho danificado. | | | | |
| 9.1.4.1 | Raspagem com espátula flexível. | 2 | | | |
| 9.1.4.2 | Raspagem com espátula rígida. | | | 2 | 2 |
| 9.1.5 | Preparo do trecho danificado. | | | | |
| 9.1.5.1 | Escovamento manual. | 3 | | | |
| 9.1.5.2 | Jateamento abrasivo para remoção de pintura. | | 2 | | |
| 9.1.5.3 | Desbaste abrasivo. | | | 3 | |
| 9.1.5.4 | Jateamento abrasivo ao metal branco. | | | | 3 |
| 9.1.6 | Marcação do trecho. | 4 | 3 | 4 | 4 |
| 9.1.7 | Lixamento manual leve. | 5 | | | |
| 9.1.8 | Aplicação do revestimento metálico. | | | | 5 |
| 9.1.9 | Selagem e/ou pintura. | 6 | 4 | 5 | 6 |
| NOTA O reparo por pintura de trechos de revestimento com substrato exposto só deve ser utilizado para reparos temporários até que um reparo definitivo do revestimento possa ser executado. | | | | | |

9.1.2 As diferenças entre áreas novas e antigas devem ser minimizadas estendendo o trecho a ser reparado até áreas específicas como: cordões de solda, itens estruturais ou outro ponto determinado.

9.1.3 Toda contaminação por óleo e graxa deve ser removida pela limpeza com solventes. Os solventes não devem causar efeitos que deteriorem a superfície do substrato metálico ou que deixem resíduo de filmes na superfície do substrato metálico. Os seguintes solventes podem ser usados: nafta tipo I (ver ASTM D 3734) ou álcool *n*-butil (ver ASTM D 304). A limpeza pode ser executada por esfregação, escovação ou por spray. Precauções devem ser tomadas pelas partes que são afetadas pelo contato com solventes.

9.1.4 Raspagem do Trecho Danificado

9.1.4.1 Limpeza por Raspagem com Espátula Flexível

Um raspador flexível tipo de pintura (25 mm de largura) deve ser usado para remover trechos danificados de selante/pintura ou de RAAT, em locais onde o substrato metálico não está ainda exposto, até atingir uma região do selante/pintura ou do RAAT bem aderido. Cuidado deve ser tomado para não danificar, desnecessariamente, trechos do RAAT em perfeito estado.

9.1.4.2 Limpeza por Raspagem com Espátula Rígida

Um raspador rígido tipo de pintura deve ser usado de forma a fazer com que a lâmina penetre por baixo do RAAT, em torno do substrato metálico exposto, removendo tanto os trechos de selante/pintura e RAAT não aderidos até atingir uma região do RAAT bem aderida e em perfeito estado.

9.1.5 Preparo do Trecho Danificado

9.1.5.1 Preparo por Escovamento Manual

Uma escova manual rígida de aço inoxidável deve ser aplicada vigorosamente sobre a superfície metálica para remover detritos. Não devem ser usadas escovas elétricas ou pneumáticas, de modo a evitar o polimento do revestimento metálico ou mesmo o desgaste do RAAT até o substrato.

9.1.5.2 Preparo por Jateamento Abrasivo

O abrasivo a ser usado deve ser o óxido de alumínio para remover trechos de pintura danificados. Devem-se utilizar pressões de jato menores para se evitar a abrasão e remoção do RAAT. Entretanto o nível de pressão deve ser o suficiente para que se consiga remover a pintura e gerar um perfil de rugosidade suficiente para a aplicação da selagem e/ou pintura.

9.1.5.3 Preparo por Desbaste Abrasivo

Equipamentos manuais rotativos (elétricos ou pneumáticos) utilizando lixa 80 mesh ou escova de aço inoxidável devem ser usados aplicando leve pressão com o objetivo de limpar e conferir rugosidade para a pintura. Deve-se evitar o polimento da superfície.

9.1.5.4 Preparo por Jateamento Abrasivo ao Metal Branco

O jateamento deve ser realizado com óxido de alumínio puro conferindo uma rugosidade Ry de 75 µm a 100 µm seguindo o descrito no 6.5.4. O bico do jato deve estar perpendicular à superfície com variação de ± 10° já que variações superiores a este valor podem ocasionar danos em regiões do revestimento em perfeito estado.

9.1.6 Marcação do Trecho

Uma fita com largura de 50 mm a 80 mm deve ser utilizada para fixar o cobrimento e separar a zona a ser reparada do restante da região sem dano.

9.1.7 Abrasão Leve

Aplicação de um leve lixamento abrasivo manual com lixas de óxido de alumínio. Este lixamento deve promover a aspereza do RAAT para que se tenha uma ligação mecânica da aspereza com o selante ou a pintura.

9.1.8 Aplicação do Revestimento por Aspersão Térmica

9.1.8.1 O RAAT deve ser aplicado seguindo o recomendado por esta Norma (ver 6.6). Não é permitida a aplicação do processo a arco sobre superfícies revestidas pelo processo à chama já que a maior velocidade e temperatura de partícula do processo a arco pode levar a uma delaminação dos revestimentos aplicados pelo processo à chama.

9.1.8.2 A área a ser revestida deve ser pré-aquecida até 100 °C antes de realizar a aspersão térmica. Isto permite garantir a aderência adequada e minimiza as tensões residuais geradas pela aspersão em uma pequena região.

9.1.9 Selagem e Pintura

Devem ser aplicados segundo a Seção 7 desta Norma.

9.2 Reparo após a Exposição do Substrato ao Meio Corrosivo

9.2.1 No caso de um RAAT de alumínio aplicado em equipamentos onde não seja possível o reparo por aspersão térmica e que possua um dano exposto ao meio marinho atmosférico, o reparo só se faz necessário em áreas onde houver a presença abundante de corrosão vermelha proveniente do substrato.

NOTA A presença de corrosão branca, derivada da dissolução do alumínio não deve ser considerada como falha do revestimento. O alumínio em meio marinho severo é capaz de proteger o aço em áreas falhas do revestimento produzindo como subproduto a corrosão branca.

9.2.2 Na presença de áreas de RAAT danificadas e com produto de corrosão vermelha abundante, deve-se lixar essa área com uma lixa 200 a fim de retirar todo produto de corrosão do aço. Deve-se lixar o RAAT em uma área que abranja 2 cm de distância da borda do dano, lixando o RAAT apenas o necessário para eliminar a rugosidade característica do revestimento e possível produto de corrosão. Essa área lixada deve ser então pintada com tinta epóxi poliamida (PETROBRAS [N-2628](#)) em duas camadas de 200 µ por demão.

10 Registro de Aplicação

10.1 Para cada área contínua revestida com um determinado tipo de revestimento deve ser emitido um relatório de inspeção da aspersão térmica, assinado pelo profissional previsto no 3.9.

10.2 Este relatório deve constar, no mínimo, os seguintes 10.2.1 a 10.2.4.

10.2.1 Cabeçalho:

- a) razão social da contratada;
- b) data;
- c) número do contrato;
- d) código (TAG) do equipamento/tubulação revestida;
- e) número do procedimento de aplicação da aspersão térmica (número e revisão);
- f) área revestida (m²);
- g) croqui da área revestida;
- h) equipe de aspersão térmica (nomes e funções) e o registro de qualificação, quando aplicável.

NOTA Caso seja acordado previamente pela PETROBRAS, o 10.2.1 d) pode ser substituído por lote diário de peças revestidas; desde que os parâmetros operacionais não variem durante a jornada de trabalho.

10.2.2 Pré-limpeza da superfície:

- a) grau de limpeza atingido;
- b) resultado do ensaio para verificar presença de óleo/graxa;
- c) tipo de pré-limpeza utilizado (descrição).

10.2.3 Limpeza Final

10.2.3.1 Condições ambientais:

- a) umidade relativa do ar;
- b) ponto de orvalho;
- c) temperatura ambiente;
- d) temperatura da superfície.

10.2.3.2 Ar comprimido:

- a) teste para presença de óleo/água (início da jornada e após 15 minutos);
- b) pressão da rede de ar comprimido.

10.2.3.3 Tipo de abrasivo:

- a) número do lote/fabricante;
- b) tipo de abrasivo;
- c) faixa granulométrica;
- d) resultado do ensaio para verificar a presença de óleo;
- e) resultado do ensaio para verificar a presença de carepa/ferrugem;
- f) resultado do ensaio para verificar a presença de umidade.

10.2.3.4 Reutilização do Abrasivo

Resultado do ensaio para verificar a presença de óleo e umidade.

10.2.3.5 Rugosidade após jateamento final:

- a) equipamento utilizado para medição de rugosidade;
- b) resultado dos ensaios para avaliação da rugosidade.

10.2.3.6 Grau de limpeza da superfície: grau de limpeza obtida.

10.2.4 Aspersão Térmica

10.2.4.1 Inspeção visual do revestimento.

10.2.4.2 Medidas de espessuras do revestimento.

- a) valores médios (medidas);
- b) equipamento de medição (fabricante, modelo e número de série).

10.2.4.3 Condições ambientais:

- a) umidade relativa do ar;
- b) ponto de orvalho;
- c) temperatura ambiente;
- d) temperatura da superfície.

NOTA Caso seja acordado previamente pela PETROBRAS, 10.2.4.3 b) e d) devem ser substituídas por medição feita em uma peça do lote diário de peças revestidas; desde que as condições ambientais não variem durante a jornada de trabalho.

10.2.4.4 Consumível:

- a) número do lote/ fabricante;
- b) composição química;
- c) diâmetro do arame.

10.2.4.5 Intervalo entre limpeza final/aplicação.

10.2.4.6 Adesão do revestimento:

- a) equipamento utilizado (fabricante, modelo e número de série);
- b) resultados obtidos.

10.2.4.7 Ensaio da faca.

10.2.4.8 Aplicação do selante:

- a) tipo (fabricante, nome comercial e lote);
- b) espessura média;
- c) intervalo entre a aspensão e a aplicação do selante.

10.2.4.9 Nome, assinatura e registro de qualificação do inspetor de revestimento por aspensão térmica.

10.2.4.10 Nome e assinatura do fiscal do contrato.

NOTA Recomenda-se que o fiscal do contrato seja qualificado como inspetor de revestimento por aspensão térmica. **[Prática Recomendada]**

Anexo A - Figuras

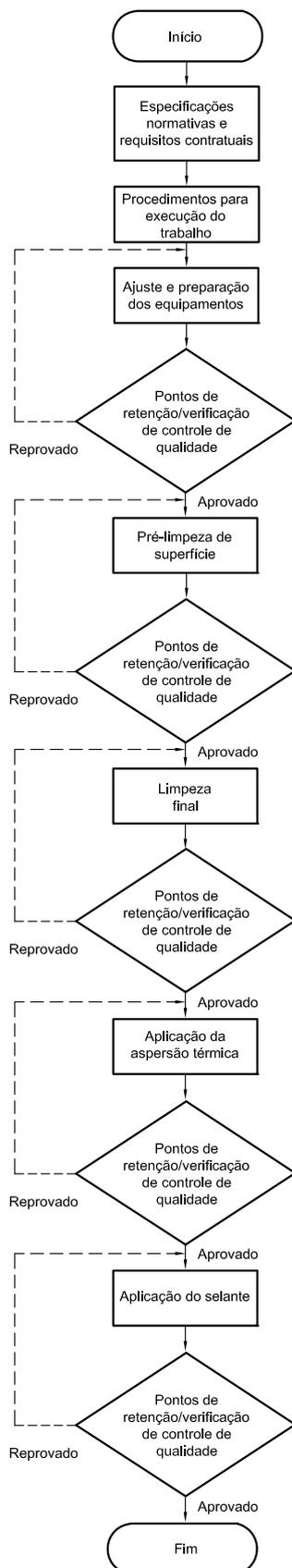
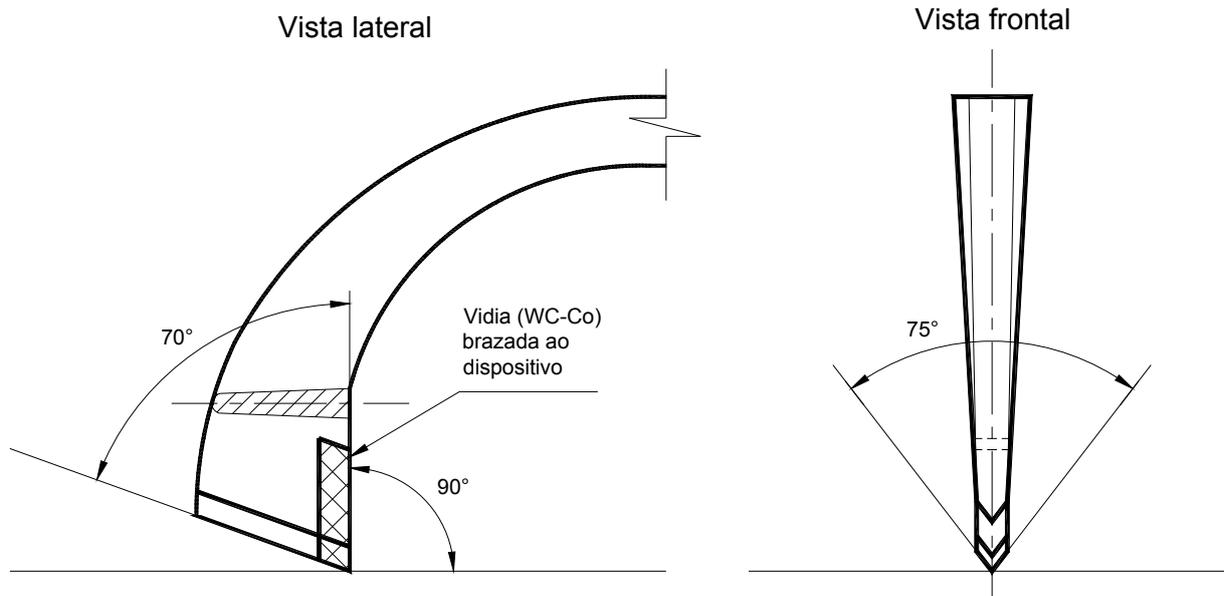


Figura A.1 - Fluxograma das Verificações de Controle de Qualidade



NOTA Teste utilizado quando a espessura do revestimento for entre 400 μm e 500 μm . consiste no deslizamento da ponta da ferramenta, acima apresentada, sobre a superfície do revestimento gerando um risco de cerca de 40 mm de comprimento até o substrato. Em seguida, deve-se com uma faca afiada ou estilete tentar destacar o revestimento transversalmente. O revestimento deve ser rejeitado se houver deslocamento da camada do revestimento pela faca. A ocorrência de amassamento do revestimento ao longo do risco, sem deslocamento, determina que o revestimento está aprovado.

Figura A.2 - Ferramenta para Ensaio de Arrancamento pela Faca



Figura A.3 - Riscamento da Camada

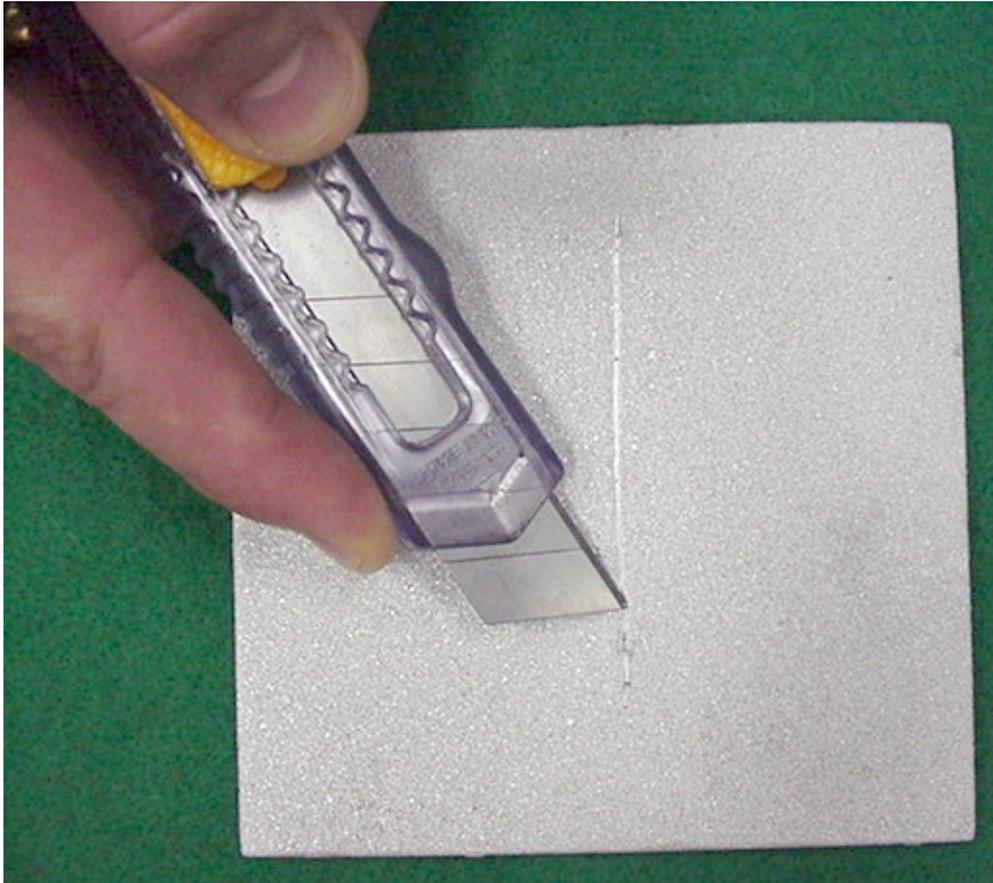


Figura A.4 - Tentativa de Deslocamento da Camada a Partir do Risco

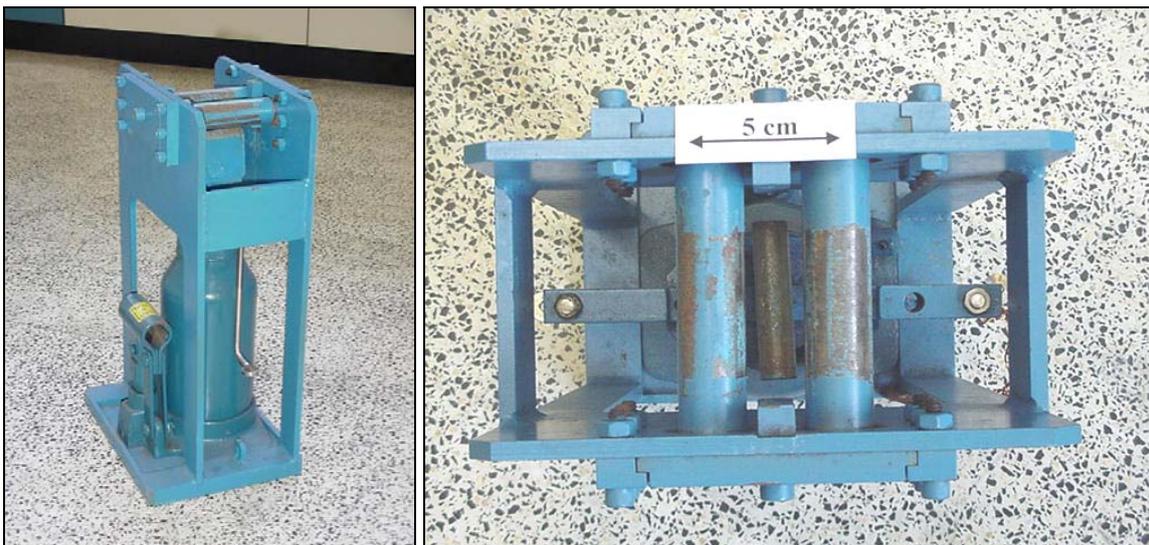


Figura A.5 - Equipamento de Dobramento

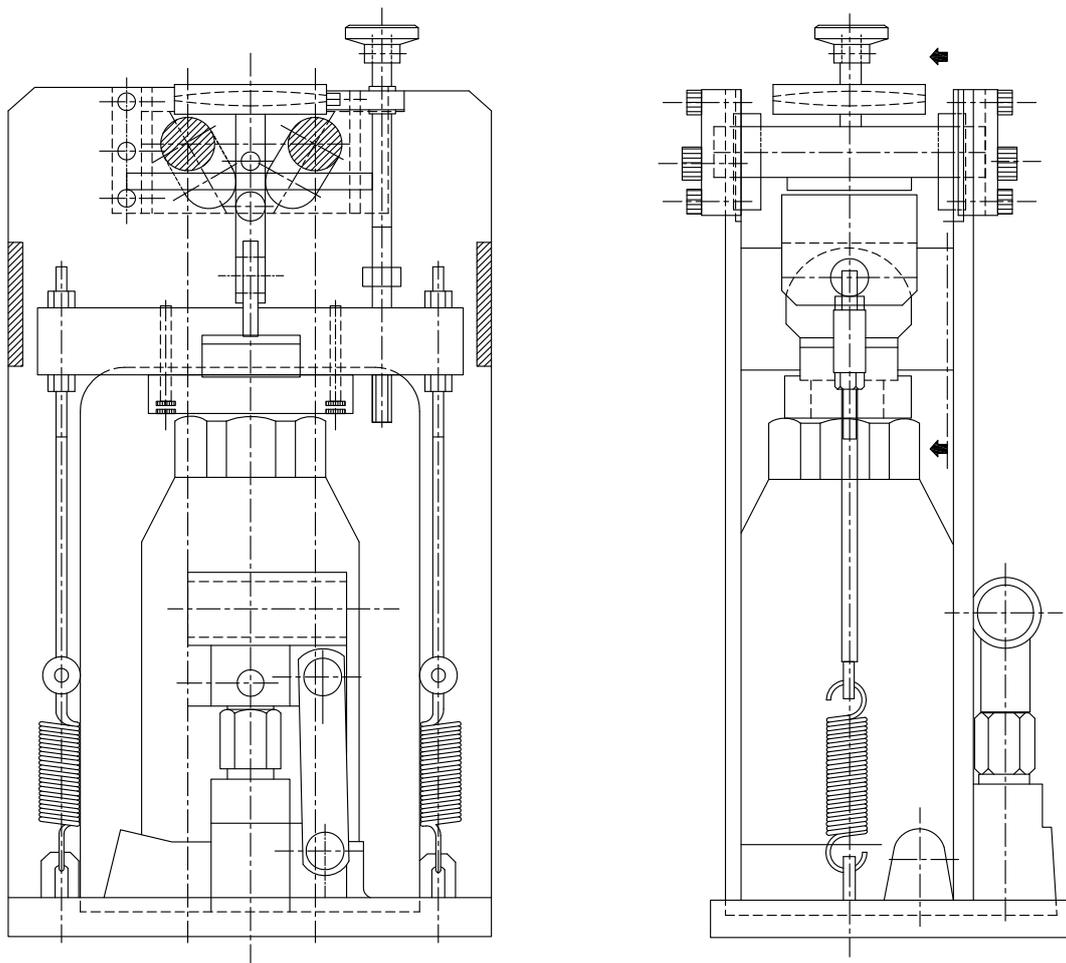


Figura A.6 - Esquema do Equipamento de Dobramento



Figura A.7 - Alicates para Retirada do Pino de Tração

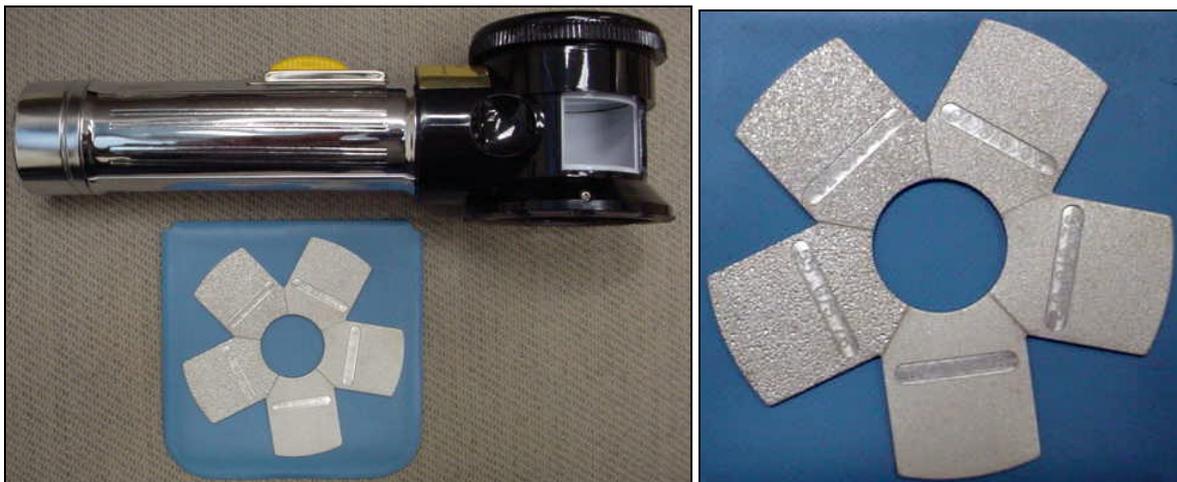


Figura A.8 - Comparador Visual de Rugosidade para Superfícies Jateadas e Lanterna de Iluminação Homogênea

Anexo B - Tabela

Tabela B.1 - Verificações Recomendadas Durante a Aplicação de Revestimentos por Aspersão Térmica

| Operação | Verificação |
|--|---|
| 1) Pré-limpeza da superfície: — desengraxamento; — hidrojateamento; — limpeza a quente. | 1.1 Inspeção visual para verificação da limpeza (6.3.1). 1.2 Teste de evaporação de solventes [6.3.3 a)]. 1.3 Teste de chama [6.3.3 b)]. |
| 2) Qualidade do ar para o jateamento final e aspersão. | 2.1 Realizar teste da qualidade do ar (6.4.2). |
| 3) Marcação e proteção das Regiões a serem jateadas. | 3.1 Marcação das regiões (6.4.3). 3.2 Proteção das regiões que não serão revestidas. 3.3 Proteção temporária para os trechos sujeitos a excesso de espessura durante a aspersão de áreas adjacentes. |
| 4) Qualidade do abrasivo. | 4.1 Inspeção visual do óxido de alumínio [partículas angulares, sem contaminação ou excesso de finos e dentro da granulometria especificada (6.4.5)]. |
| 5) Limpeza final. | 5.1 Verificar grau de limpeza Sa 3 comparando com chapa de teste jateada por mais tempo (6.5.1). 5.2 Medir rugosidade (6.5.4). |
| 6) Tempo entre o final do jateamento e o início da aspersão térmica. | 6.1 Ver 6.6.7. |
| 7) Teste do equipamento e dos parâmetros de aspersão térmica. | 7.1 Verificar parâmetros operacionais (avaliar espessura do revestimento - 5.4.2.3 e realizar teste de dobramento - 5.4.3). 7.2 Verificar operacionalidade do equipamento (6.6.1). 7.3 Verificação da qualidade do arame (6.6.4). |
| 8) Aplicação da aspersão térmica. | 8.1 Temperatura do substrato acima de 5 °C da temperatura de orvalho. 8.2 Escolha correta do processo de aplicação (6.6.2). 8.3 Preaquecer a 100°C quando usando o processo a chama (6.6.5). 8.4 Aspersão térmica com ângulo de $90 \pm 30^\circ$ e correta distância ao substrato metálico (6.6.6.3). 8.5 Manter a espessura especificada por passe e usando passes cruzados e 1/3 sobrepostos (6.6.6.1). 8.6 Não é admitida qualquer deterioração da superfície metálica antes ou após a aspersão térmica. 8.7 Espessura final recomendada função de cada ambiente corrosivo (Anexo C). 8.8 Realizar o teste de arrancamento pela faca caso a espessura ultrapasse 400 μm . 8.9 Realizar testes de aderência do campo (8.1.2 e 8.2.5). |
| 9) Selagem do revestimento. | 9.1 Inspeção visual para verificar se o cobrimento foi total. 9.2 Respeitar o tempo máximo permitido entre o fim da aspersão e a selagem (7.4). |

Anexo C - Recomendações para a Seleção de Revestimentos para a Proteção do Aço em Ambientes Corrosivos

C.1 A utilização de revestimentos (principalmente metálicos) para a proteção do aço em ambientes corrosivos tem-se tornado prática usual pelo aumento significativo da vida útil das estruturas e equipamentos sendo em muitos casos superior a 20 anos podendo em outros superar a 40 anos. A seleção do RAAT depende do tipo de ambiente, da vida útil desejada, do ciclo de operação e da estrutura existente para manutenção e reparo do revestimento (ver Tabela C.1).

C.2 Os RAAT de alumínio, zinco, suas ligas e compósitos quando aplicados em espessuras superiores a 230 μm (condição em que se têm poros não passantes) fornecem tanto proteção catódica quanto por barreira. Caso a espessura seja inferior a este valor o revestimento é consumido agindo imediatamente como anodo de sacrifício, porém retardando a corrosão do substrato metálico. Os RAAT à base de alumínio se corroem mais lentamente em ambientes com pH de 4 a 9 em relação aos RAAT de zinco que se comportam melhor em ambientes com pH de 5 a 12. Possuem também melhor resistência ao impacto e a abrasão leve que aqueles de zinco e pintura tipo epóxi.

C.3 A porosidade dos RAAT é essencialmente função do material de consumo, do método de aplicação e dos parâmetros de aspersão. Os arames de menor diâmetro (1,6 mm e 2,3 mm), quando usado o processo a chama, assim como processo a arco com baixas correntes (100 A a 200 A), são condições em que se conseguem menores valores de porosidade. Porém, diâmetros de arame de 4,8 mm são aplicáveis para aumento de produtividade através do processo a arco-elétrico.

C.4 Os selantes devem ser aplicados com o objetivo de preencher os poros do revestimento, tornando a superfície aspergida menos áspera e aumentando a vida útil do revestimento. A selagem é obrigatória. Os RAAT já selados devem receber uma pintura como acabamento somente quando:

- a) o ambiente é muito ácido ou alcalino (pH fora do intervalo 5 a 12 para o zinco e suas ligas ou fora do intervalo 4 a 9 para o alumínio e suas ligas e compósitos);
- b) o metal está sujeito a ataque direto por algum agente químico específico;
- c) efeito decorativo;
- d) quando resistência a abrasão adicional é necessária;
- e) aplicada diretamente em revestimentos RAAT de zinco em regiões expostas a zona de variação de maré;

C.5 Não deve-se pintar RAAT de alumínio para exposição a zona de variação de maré.

C.6 A pintura com objetivo de dar cor definida em RAAT de alumínio quando em exposição atmosférica deve ter espessura máxima de 75 μm devendo ser sempre aplicado após a etapa de selagem.

Tabela C.1 - Recomendação para Seleção de Revestimentos em Ambientes Corrosivos

| | Espessura do revestimento em função do ambiente corrosivo (μm) | | | | | |
|---|---|---------|----------------------|---------|----------------------|-----------|
| | De 5 anos a 10 anos | | De 10 anos a 20 anos | | De 20 anos a 40 anos | > 40 anos |
| | Al | Zn | Al | Zn | Al | Al |
| Marinho atmosférico | - | - | 250-300 | NA | 250-300 | 300-375 |
| Imersão em água doce | - | - | NA | 250-300 | - | - |
| Imersão em água do mar | - | - | 250-300 | NA | 300-350 | - |
| Alta temperatura (300 °C a 600 °C) | - | - | 250-375 | NA | - | - |
| CST-amônia (aço-carbono) | - | 200-250 | NA | NA | - | - |
| Zona de variação de maré | - | - | NA | 200-250 | - | - |
| HIC | 250-300 | - | - | - | - | - |
| <p>NOTA 1 O revestimento de zinco aplicado em equipamentos sujeitos a Corrosão Sob Tensão (CST) em ambientes contendo amônia deve se restringir a 500 mm para cada lado a partir do centro do cordão de solda.</p> <p>NOTA 2 Os revestimentos à base de alumínio não devem ser usados imersos em águas ou emulsões de óleo-água provenientes de campos de petróleo (água produzida).</p> <p>NOTA 3 Os revestimentos à base de alumínio são recomendados para a proteção de superfícies de aço inoxidável, em substituição a revestimentos orgânicos, quando em contato com meios marinhos atmosféricos ou imerso em água do mar (qualquer temperatura), com ou sem isolamento térmico.</p> <p>NOTA 4 Os revestimentos de alumínio são indicados para a proteção de equipamentos de processo em refinarias e petroquímicas sujeitas a problemas de HIC em ambientes contendo H_2S principalmente quando o pH se situa de 3 a 9 (espessura mínima 225 μm). Com pH fora desse intervalo deve-se aplicar um revestimento de aço inox AISI 316.</p> <p>NOTA 5 Os revestimentos de zinco com aplicação adicional de pintura epóxi (três camadas - PETROBRAS N-2628) e tinta "anti-fouling" são indicados para regiões em zona de variação de maré.</p> <p>NOTA 6 NA - Não Aplicável.</p> | | | | | | |

Anexo D - Modo de Aplicação de Passes

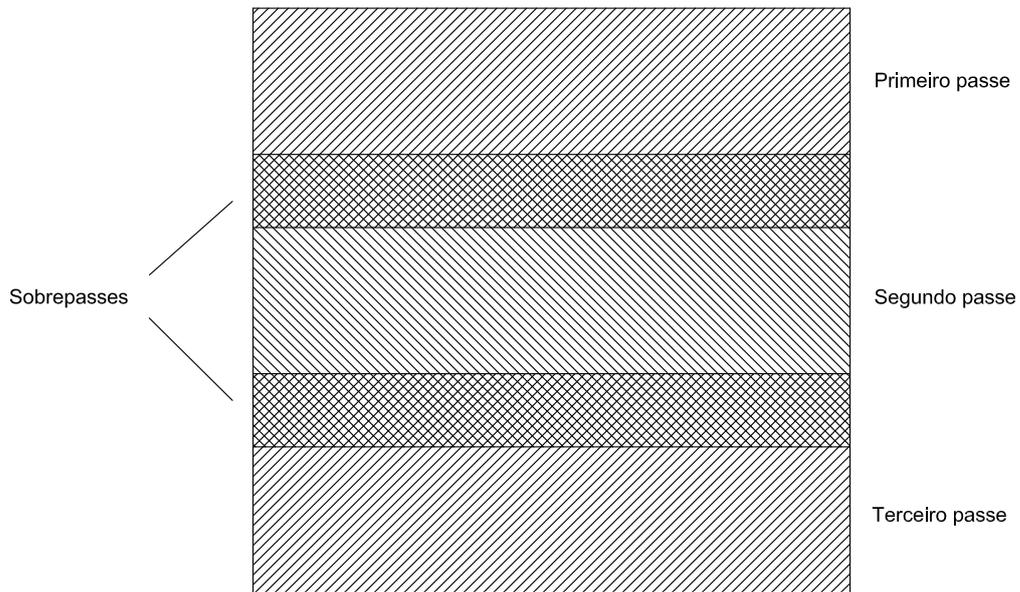


Figura D.1 - Sobrepassa Entre Passes

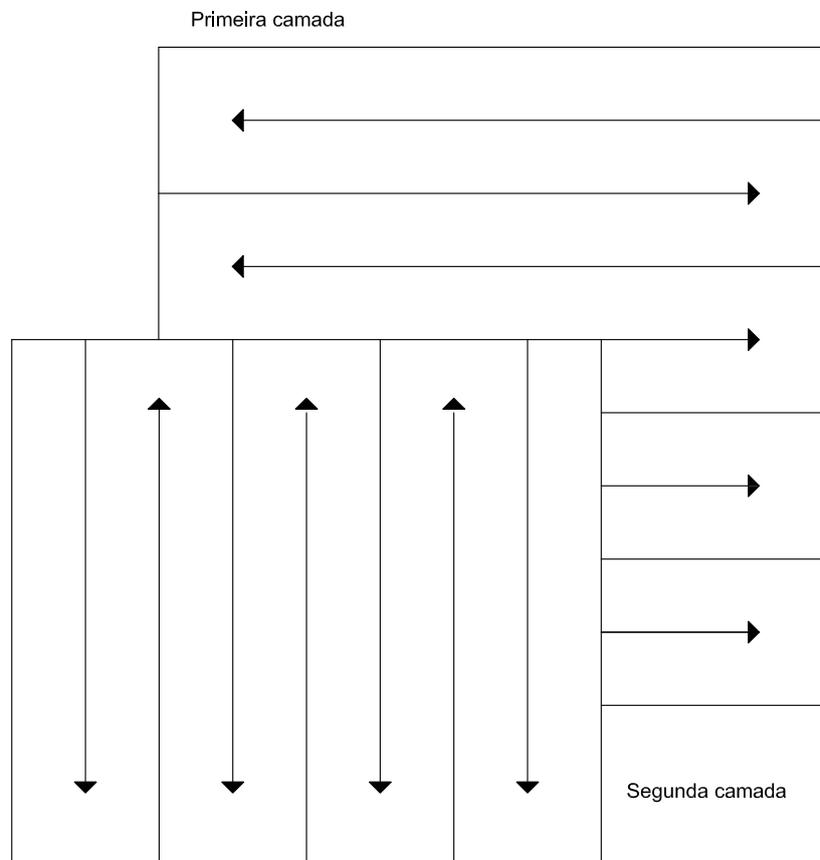


Figura D.2 - Aplicação das Camadas

| ÍNDICE DE REVISÕES | |
|---------------------------|------------------------|
| | |
| REV. A | |
| Partes Atingidas | Descrição da Alteração |
| Todas | Revisadas |
| REV. B | |
| Partes Atingidas | Descrição da Alteração |
| Título | Revisada |
| 1.1 | Revisada |
| 2 | Revisada |
| 3.9 | Revisada |
| 4.3.4 | Excluída |
| 5.2.2.1 | Revisada |
| 5.4.2.1 | Revisada |
| 6.3.2 b) | Revisada |
| 6.4.1 Nota 2 | Revisada |
| 6.4.4.1 | Revisada |
| 6.4.4.2 Nota 1 | Revisada |
| 6.3.2 c) | Revisada |
| 6.3.3 b) | Revisada |
| 6.4.5.3 | Revisada |
| 6.5.4 a) | Revisada |
| 6.6.5.1 | Revisada |
| 7.3.1 a) | Revisada |
| 8.2.2 a) | Revisada |
| 8.2.5.1 | Revisada |
| 8.2.5.2 | Revisada |
| 9.1.8.2 | Revisada |
| 10.1 | Revisada |
| Tabela B.1 | Revisada |
| | |