



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA QUÍMICA



Proteção Anticorrosiva em Petroleiros

FILIPE PEREIRA CALCINHA

(Licenciado em Engenharia Química e Biológica – Ramo Química)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Química e Biológica – Processos Químicos

Orientador (es):

Eng. Nuno Jorge
Prof. Doutor Ruben Leitão
Doutora Ana Cabral

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Gomes

Vogais:

Prof. Doutor José Coelho
Doutora Ana Cabral

Julho 2017

Índice

Agradecimentos	2
Resumo	3
Abstract	4
Introdução	5
1 Tratamento de superfície - Docagem de navio em doca seca	11
1.1 Características de um navio petroleiro	11
1.2 Descontaminação da superfície	12
1.2.1 Limpeza com água.....	12
1.2.2 Navio em estudo	14
Costado.....	14
Convés	15
1.3 Tratamento de superfície	15
1.3.1 Tratamento da corrosão - Tratamento mecânico.....	16
1.3.2 Tratamento da corrosão – Tratamento por decapagem com abrasivo seco.	19
1.3.3 Tratamento da Corrosão - Hidrodecapagem.....	26
Hidrodecapagem Manual.....	26
Hidrodecapagem Robotizada	27
Hidrodecapagem - Operacionalidade.....	28
Desvantagens da sua utilização - Decapagem Vs. Hidrodecapagem.....	32
1.3.4 Navio em estudo	34
Costado.....	34
Convés	37
1.4. Revestimento	39
1.4.1 Tintas	39
Constituintes das Tintas	40
Mecanismos de secagem.....	41
1.4.2 Tipos de tintas	43
Tintas Alquídicas	43
Tintas Epoxídicas.....	43
Tintas de poliuretano.....	44
Tintas Anti-Incrustantes.....	45
1.4.3 Equipamentos de pintura	46
1.4.4. Controlo de qualidade.....	49
1.4.5 Navio em estudo	55
Costado.....	55
Convés	58
1.5 Outros métodos de proteção frente á corrosão	61
Considerações Finais	65
Bibliografia	66

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

Agradecimentos

As palavras que poderei deixar nesta folha acredito não expressarem a gratidão que sinto por aqueles que me ajudaram neste longo caminho que foi o Mestrado. Um muito obrigado a todos pela ajuda e tempo despendido com a minha pessoa tornando-me uma pessoa melhor.

Gostaria de agradecer à TECOR, SA empresa na qual desenvolvi todo este trabalho e onde desenvolvo a minha atividade profissional. O apoio de toda a Gestão da TECOR que foi uma ajuda muito importante para que fossem atingidos os objectivos a que me propus no inicio desta grande caminhada. Um obrigado a todos.

Agradecer á minha família e amigos em especial é pessoa que me “atura” todos os dias nos bons e maus momentos à minha Esposa Dina Mestre. Aos meus Pais que sem o apoio deles nada disto teria sido possível.

Resumo

A corrosão em navios petroleiros é a principal causa da sua degradação quando estes estão sujeitos a condições agressivas como é o mar ou mesmo danificações mecânicas nos próprios cascos. Neste relatório de estágio irei abordar como se faz a manutenção em navios petroleiros de forma a minimizar os danos causados pela corrosão. Para tal iremos abordar os diferentes tipos de operações que podemos desenvolver de tratamento superficial e os diferentes tipos de recobrimentos que potenciam um efeito barreira contra os meios agressivos a que estes estão sujeitos.

Para além dos trabalhos desenvolvidos serão abordados métodos de controlo de qualidade bem como os requisitos de especificações de pintura de forma a conseguir a qualidade adequada à utilização e durabilidade.

Foi escolhido um projeto (navio) em que temos dois trabalhos distintos de forma a alargar um pouco os diferentes tipos de tratamento superficial e recobrimentos. Iremos para tal ter um trabalho desenvolvido no costado de um navio e convés, envolvendo diversos tipos de equipamento e tipos de revestimento.

No final do projecto foram atingidos os objectivos propostos inicialmente conseguindo-se deixar o navio protegido contra os meios agressivos, fazendo o cliente final satisfeito com o resultado final.

Palavras-chave: Corrosão em navios petroleiros, Tipos de corrosão, Tratamentos de superfície, Tipos de recobrimentos, Pintura, Tinta.

Abstract

Corrosion in oil tankers is the main cause of their degradation when they are subjected to aggressive conditions such as the sea or even mechanical damages in the hulls it self. In this traineeship report I will discuss how to maintain oil tankers in order to minimize damage caused by corrosion. For this we will address the different types of operations that we can develop for surface treatment and the different types of coatings that enhance a barrier effect against the aggressive means to which they are subject.

In addition to the developed works will be approached methods of quality control as well as the requirements of painting specifications in order to achieve the right quality for the propose and durability.

A project was chosen (ship) in which we have two different works in order to slightly extend the different types of surface treatment and coatings. We will have a work developed on the side of the ship and one on the deck, involving various types of equipment and coating protection.

At the end of the project, the initially objectives were achieved, leaving the ship protected against possible aggressive means and the end customer satisfied with the final result.

Keywords: Corrosion in oil tankers, Types of corrosion, Surface treatments, Types of coatings, Painting, Paint.

Introdução

A **TECOR – TECNOLOGIA ANTICORROSÃO, S.A.** é uma empresa especializada no tratamento de superfícies metálicas, nomeadamente preparação e proteção anticorrosiva.

A sua fundação ocorreu no âmbito do programa de reestruturação da LISNAVE, de onde os quadros técnicos são originários, como resultado do “spin-off” da atividade de preparação e pintura de superfícies.

Iniciou a sua atividade no Estaleiro da Lisnave, em janeiro de 1995 pertencendo hoje ao grupo de empresas participadas pela ‘Navivessel’.

Presta uma vasta gama de serviços de tratamento de superfície em navios e na indústria, de preparação e pinturas anticorrosivas e de acabamento, em contacto total ou parcial com a água, sujeitas a condensação e expostas a diversos tipos de corrosibilidade ambiental e condições climáticas. Recorre a soluções tecnologicamente avançadas, nas seguintes áreas:

- Preparação de Superfícies quer pela utilização de a água com pressões entre os 200 e os 2800 bar, quer recorrendo a Decapagem com abrasivo
- Aplicação de sistemas de Pintura
- Hidrodemolição

A **Tecor** assegura a satisfação dos seus clientes através da monitorização e manutenção dos seus padrões de qualidade, sendo o seu Sistema de Gestão da Qualidade certificado segundo as normas ISO deste 1997 e detendo neste momento a certificação NP EN ISO 9001:2016.

Sendo seu “cor business” o tratamento de superfície em navios no âmbito da reparação naval no Estaleiro da Lisnave tem como indicadores médios anuais mais significativos: 148 navios, 656.000 m² de decapagem, 1.990.000 m² de lavagem a alta pressão e 4.450.000 m² de pintura.

A corrosão pode ser definida como a degradação eletroquímica de um material metálico quando exposto a um meio agressivo. Em certas ocasiões, este termo limita-

se só a materiais metálicos, mas está cada vez mais ligado á degradação de materiais não metálicos.

Não se deve supor que qualquer reação de um material com um meio agressivo ou incluso qualquer destruição desse material por ação de um meio, é sempre corrosão. Por exemplo, a erosão sofrida por um material ou a rotura por efeito de um esforço superior á resistência desse mesmo material não entra dentro desta categoria, uma vez que não temos meio agressivo.

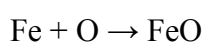
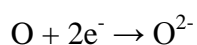
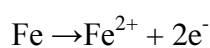
Ainda que se considere que a corrosão é um processo natural de grande maioria em metais, ligas, existem outros materiais, denominados nobres, que não reagem com o meio envolvente e que se encontram puros na natureza. Os restantes encontram-se em forma combinada, como sejam os ‘‘produtos de corrosão’’ desses mesmos metais (óxidos, hidróxidos, carbonatos).

Os 80 metais conhecidos atualmente formam 75% de todos os elementos, com propriedades típicas derivadas da sua configuração microestrutural e atómica, como são:

- Elevada condutividade eléctrica e térmica
- Ductilidade e maleabilidade
- Brilho metálico

E são precisamente as propriedades de reatividade química dos metais que os fazem combinar-se com elementos não metálicos, dando lugar a óxidos do processo de corrosão.

Esse comportamento pode ser observado no caso do ferro na presença de oxigénio, o ferro cede electrões ao oxigénio para formar óxido de ferro:



Assim, do ponto de vista químico a corrosão pode ser considerada um processo de oxidação de um metal e de redução de um não metal.

No processo de corrosão também temos implicada uma energia química (o potencial químico característico de cada substância ou elemento) cujo balanço global entre substâncias que participam deve ser favorável à formação de produtos de corrosão. Este é o aspecto termodinâmico da corrosão, necessário para que o processo ocorra. Assim é possível determinar o potencial químico de cada elemento e calcular se é ou não favorável energeticamente num processo químico como o da corrosão.

Mas o critério termodinâmico não é suficiente para explicar o aparecimento ou não da corrosão de um determinado material num meio concreto, pois não indica nada sobre a probabilidade ou a velocidade do processo de corrosão.

A termodinâmica indica apenas se o processo de corrosão é possível ou não. Para determinar a velocidade do processo de corrosão temos que recorrer á cinética, que também permite determinar o mecanismo pelo qual a corrosão irá ocorrer. E é o conhecimento do mecanismo que permite determinar a intensidade de corrosão, seus efeitos prejudiciais com o tempo e as medidas de minimização e proteção que se podem aplicar em cada caso.

A velocidade de um reação como a da corrosão dependerá de múltiplos fatores que se podem agrupar em:

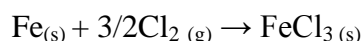
- O Material – Microestrutura, propriedades metálicas, estado da superfície, a sua história (tratamentos térmicos, soldaduras, esforços).
- O Meio – A sua agressividade, temperatura, velocidade de fluxo, presença de sólidos e microrganismos.

Para poder medir a velocidade de corrosão recorre-se ao tipo de degradação que ocorre e aos produtos de corrosão que se formam sobre o material. A velocidade de corrosão defini-se como a quantidade de corrosão que ocorre por unidade de tempo. A quantidade de corrosão pode medir-se, por exemplo, por perda de massa de uma peça depois de um determinado tempo num meio agressivo, comparando com a massa inicial.

Para além da velocidade de corrosão também é importante conhecer o mecanismo pelo qual se produz a corrosão. Dependendo do tipo de material que está no meio

agressivo, esse mecanismo pode ser realmente complexo. Mas todas as possibilidades se podem associar a um dos seguintes mecanismos.

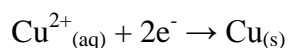
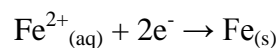
- Sem corrente elétrica – Quando o metal que se irá corroer está em contacto com uma substância que não é condutora elétrica. Nesse caso, o mecanismo de corrosão consiste numa única etapa, por reação química direta do metal com uma substância não eletrolítica (por exemplo, Cloro gasoso a alta temperatura).



- Com corrente elétrica – Quando o material esta em contacto com substâncias que são condutoras elétricas. Este é o caso mais comum nos processos de corrosão mais importantes onde há dissolução aquosa das substâncias agressivas, como é o caso da corrosão eletrolítica.

A corrosão eletrolítica produz-se quando dois materiais de potencial elétrico diferente entram em contacto elétrico num meio condutor (eletrólito).

O material que tem o potencial mais baixo, chama-se ânodo sendo o que se vai corroer (elemento menos nobre); o material que tem o potencial mais elevado chama-se cátodo e não se corroi (elemento mais nobre). Um exemplo é o contacto elétrico entre o ferro e o cobre através de um eletrólito, formando o que se chama de célula eletroquímica, na qual existem as seguintes reações:



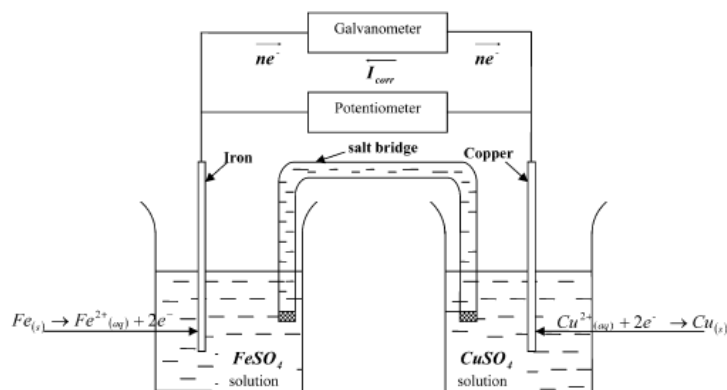
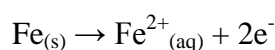


Figura 1 – Célula eletroquímica de Ferro e Cobre.

Neste caso é o Ferro que atua como ânodo corroendo-se devido a ser menos nobre que o cobre, tendo um potencial mais baixo.

Sendo a reação anódica a seguinte:



Deste modo, os electrões gerados na reação anódica do Ferro irão ser consumidos na reação catódica do cobre, gerando uma corrente que pode ser medida e que servirá para indicar a intensidade de corrosão produzida.

Ambas as reações anódica e catódica ocorrem em simultâneo e não podem ter lugar uma sem a outra.

Existem porém diferentes fatores que afetam a velocidade de corrosão de um material sendo esses:

- O ph do meio agressivo – O ph pode influenciar a velocidade a que um material se corroi. Esta influencia dependendo do material a que nos referimos, pois temos materiais mais nobres que resistem frente á corrosão a qualquer valor de ph. No entanto, o caso dos aço carbono muito sensíveis valores de pH muito acido ou basico a velocidade de corrosão aumenta.
- Sais dissolvidos no eletrólito – Neste caso quanto maior a concentração de sais dissolvidos mais agressivo será o meio, maior condutividade terá esse eletrólito, logo maior será a velocidade de corrosão.
- Oxigénio dissolvido no meio – É a substância mais comum quer em reações catódicas quer em reações eletroquímicas. É tão importante que se num meio

neutro-básico se eliminarmos o oxigénio a corrosão praticamente não se desenvolve. Também é possível, num meio muito puro, em que temos uma grande concentração de O_2 , esta proporcione a formação de uma película de óxidos que protege o material fazendo diminuir a corrosão inicialmente intensa.

- A temperatura – Quando temos um aumento da temperatura temos uma aceleração de partículas de todas as reações químicas e reações de oxidação/redução. Quando aumentamos a temperatura aceleramos as reações anódica e catódica, diminuindo a concentração de O_2 dissolvido, diminuindo a velocidade de corrosão.

A corrosão pode manifestar-se de várias formas tais como corrosão generalizada, corrosão galvânica, corrosão por picadura, corrosão seletiva, corrosão por requisito e corrosão filiforme.

Para cada uma existem materiais com maior ou menor susceptibilidade a que estes tipos de corrosão ocorram.

Para proteger os substratos frente á corrosão são feitos os recobrimentos dos mesmos, estes apresentam diferentes funcionalidades frente á corrosão como é o caso de tintas com efeito barreira, inibidores de corrosão e proteção catódica. Nem todos os substratos são protegidos por recobrimentos, estes podem ser protegidos por metalização, galvanização ou por proteção catódica, ânodos sacrificiais ou corrente impressa. ^[1]

1 Tratamento de superfície - Docagem de navio em doca seca

1.1 Características de um navio petroleiro

Um navio é constituído por obras vivas e obras mortas. As obras vivas são aquelas que estão na sua maior parte do tempo debaixo de água sendo chamadas de vertical e fundo chato, estas são classificadas em Im2 (substrato imerso em água salgada ou salobra) segundo a norma ISO 12944-2, por outro lado temos as obras mortas do navio sendo aquelas que estão acima da linha de água também classificadas como Im2, uma vez que estão numa zona de salpicos de água salgada, chamada de topside. Abaixo apresento um pequeno esquema de forma a que no decorrer da leitura da tese seja mais fácil entender alguma nomenclatura utilizada.^{[1][2] [7]}

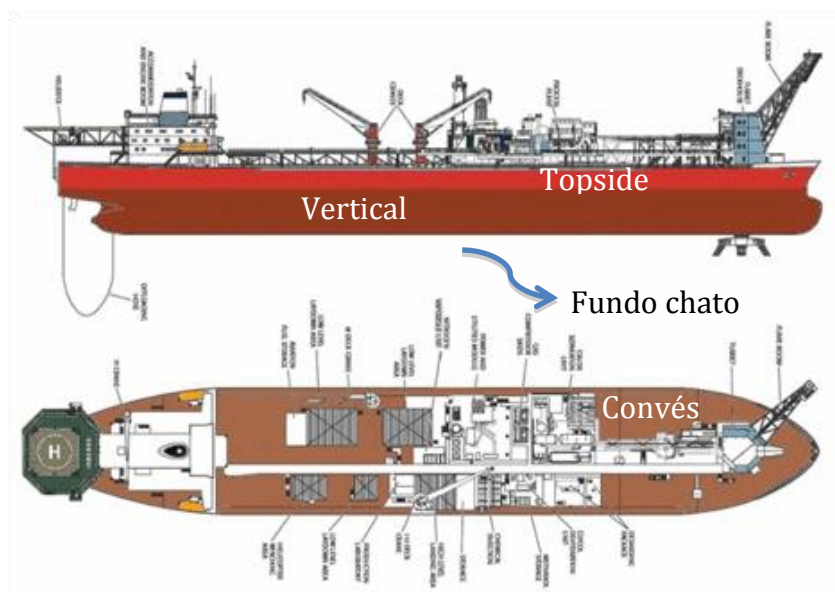


Figura 2 – Identificação das areas dos navios.^[4]

1.2 Descontaminação da superfície

1.2.1 Limpeza com água

A lavagem é um método de pré-tratamento do substrato que nos permite a remoção de contaminantes solúveis em água, como é o caso dos sais e gorduras embora neste último caso tenha de usar-se um solvente alcalino para a remoção dessa mesma gordura. Segundo a Norma ISO 8501-4 teremos diferentes tipos de pressões para diferentes efeitos segundo o quadro abaixo^{[1][2][8]}

Tipo de lavagem	Pressão	Uso
Limpeza com água a baixa pressão	Abaixo de 340bar	Uso industrial Geral
Limpeza com água a alta pressão	340-700 bar	Limpeza intensa

Tabela 1 – Pressões de limpeza com água segundo a Norma ISO 8501-4.^{[1][8]}

Na industria naval o mais usado como tratamento inicial, de forma a remover os contaminantes solúveis em água é a limpeza com água a baixa pressão. Normalmente a uma pressão de 200bar.

Uma vez que os navios transportam produtos oleosos estes por vezes apresentam gorduras na superfície, como já foi referido atrás, quer no costado quer no convés, tendo que ser desengordurados não na sua totalidade mas pontualmente nas zonas afectadas. Para tal são usados desengordurantes alcalinos solúveis em água, aplicando-se a rolo, em áreas pequenas, ou com uma maquina de pintura quando a extensão da zona contaminada assim o exige.

Após a aplicação este é removido usando água a uma pressão de 200 bar, repetindo-se a operação até a superfície ficar completamente descontaminada.

A descontaminação inicial da superfície não passa só por lavagem ou desengorduramento. Por vezes navios que navegam em águas quentes pelo que potência a presença de marisco (cracas) agarrado á superfície, derivado da falência das camadas de antivegetativo do esquema de pintura inicial aplicado tendo este que ser raspado manualmente e posteriormente feita uma limpeza com água a baixa pressão.

Após concluídas as operações atrás referidas, é avaliado o grau de contaminantes solúveis em água, mediante o método de bresle, segundo a norma ISO 8502-6. Esta análise permite saber se a superfície do substrato está contaminada com sais, medindo a condutividade, segundo a norma ISO 8502-9, da água extraída do Teste Bresle.^{[1][2]}
[9]

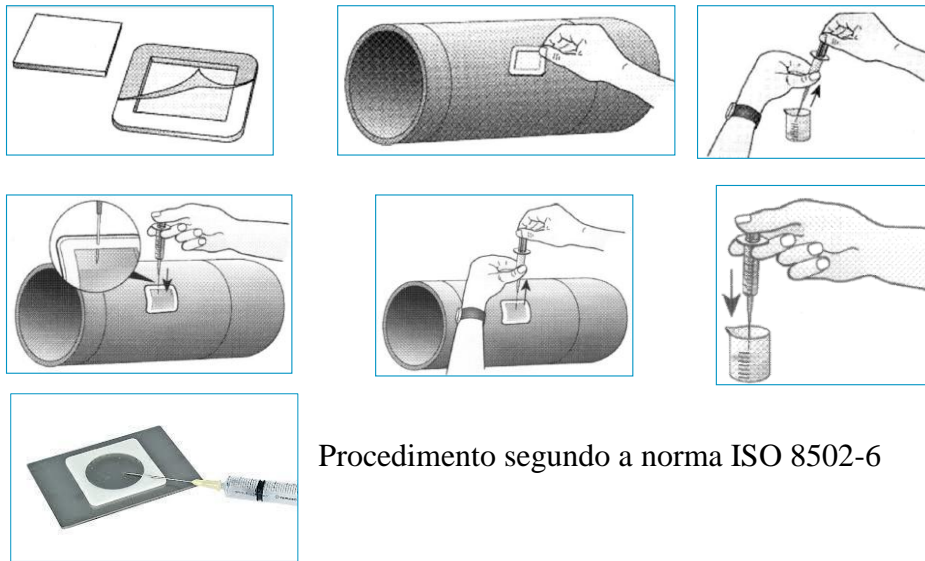


Figura 3 – Procedimento para extração de sais de uma superfície metálica segundo a ISO 8502-6.^{[1][9]}



Fotografia 1 – Bresle test, teste de sais feitos para determinar a quantidade de sal existente na superfície após a lavagem.^[3]

Abaixo podemos ver um pequeno flowsheet do processo a desenvolver após o navio estar em doca seca.



Chegada do Navio
Identificação do estado da superfície

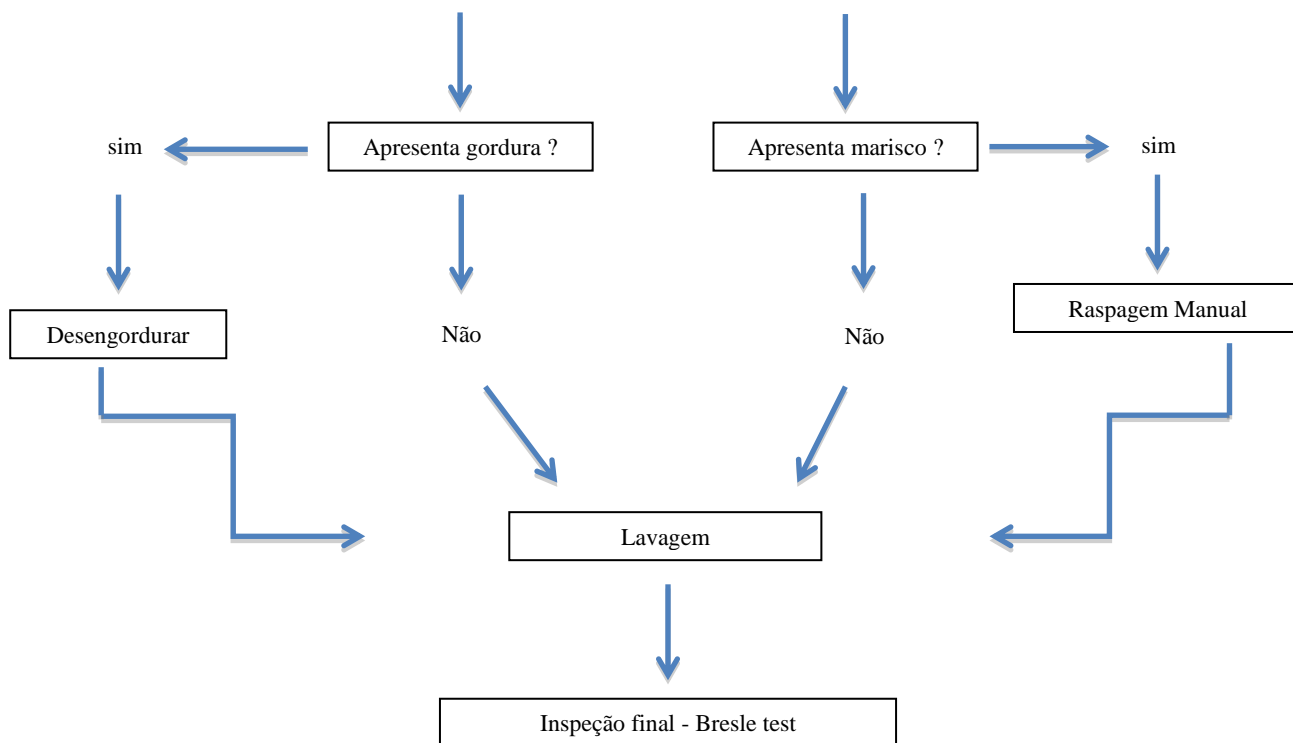


Figura 4 – Flowsheet do processo a desenvolver á entrada do navio.

1.2.2 Navio em estudo

Costado

No que diz respeito ao navio em estudo após inspeção visual do costado verificou-se a presença de alguns mariscos no fundo, limo e óleos nos verticais a bombordo e estibordo. Os mariscos foram removidos recorrendo a raspagem manual e o limo foi removido recorrendo a uma lavagem do navio na sua totalidade a uma pressão de 200bar. Os óleos localizados foram removidos no decorrer da lavagem a 200bar aplicando nas zonas afetadas produto desengordurante alcalino.

Após a lavagem concluída foram feitos testes de sais, tomando como valor limite o especificado pelo fornecedor de tintas, indicando valores dentro dos limites admissíveis, aprovando-se a etapa da lavagem.

Convés

Após inspeção visual do convés este apresentava lixo solto e produtos oleosos na totalidade do convés.

Para facilitar a descontaminação do convés foi feita uma limpeza inicial, removendo todo o lixo e equipamentos em contacto com a superfície. Uma vez a quantidade de óleos na superfície ser generalizada foi decidido fazer um desgorduramento geral do convés usando produto desgordurante específico para o efeito. A lavagem foi feita após aplicação do produto, o resultado final foi satisfatório.

Ao finalizar-se a lavagem foram feitos testes de sais em varias zonas, tomando como valor limite o especificado pelo fornecedor de tintas, estando os valores dentro do limite especificado pelo fornecedor de tintas. A lavagem foi aprovada tendo-se passado para a fase seguinte.

1.3 Tratamento de superfície

Na reparação naval as superfícies dos navios já se apresentam pintadas de construção, apresentado apenas zonas localizadas com corrosão sendo tratadas recorrendo a decapagem com abrasivo, tratamento mecânico ou mesmo hidrodapagem.

Após a descontaminação da superfície é identificado o estado da superfície quer a nível de tintas existentes quer a nível do grau de oxidação existente segundo a norma ISO 4628-3, em que se tivermos mais que 1% de oxidação (Grau Ri3) teremos que fazer tratamento a esse recobrimento.^{[1][2] [10]}

No que diz respeito ás tintas existentes estas podem apresentar uma fraca adesão ao substrato (aço carbono) ou entre demãos de pintura.

Temos como fraca adesão ao substrato zonas de ligação (soldaduras) que por vezes são limadas em construção, não tendo um perfil rugoso para uma boa ancoragem da tinta á superfície ou contaminantes no substrato que não foram removidos.

Quanto a uma fraca adesão entre demãos de tinta esta poderá dever-se a incompatibilidade entre tintas, falta de tempo de cura entre demãos, demãos que por ter sido ultrapassado o intervalo de recobrimento ao pintar uma segunda demãos em cima das mesmas não permite a sua aderência, pintura de tintas epoxy com elevada humidade relativa e posterior demão em cima da mesma, temperatura incorreta durante a pintura, espessura excessiva da demão e pulverização com pouco diluente. No que diz respeito aos graus de óxido e de preparação de substratos de aço não pintados temos a norma ISO 8501-1, usada para aprovar as decapagem segundo comparação com padrões fotográficos existentes na mesma. Para superfícies pintadas é usada a norma ISO 8501-2 indicando-se com um P antes de cada designação de preparação de superfície (exemplo, P SA2,5).^{[1][2][11]}



Figura 5 – Tabela de Graus de corrosão segundo a norma EN ISO 8501-1.^{[1][2][4][11]}

1.3.1 Tratamento da corrosão - Tratamento mecânico

O tratamento mecânico é feito como o próprio nome indica utilizando ferramentas mecânicas como disco lixa, fresas mecânicas, escovas de tacho mecânicas e martelos de agulhas



Figura 6 – Equipamento de tratamento mecânico.^[4]

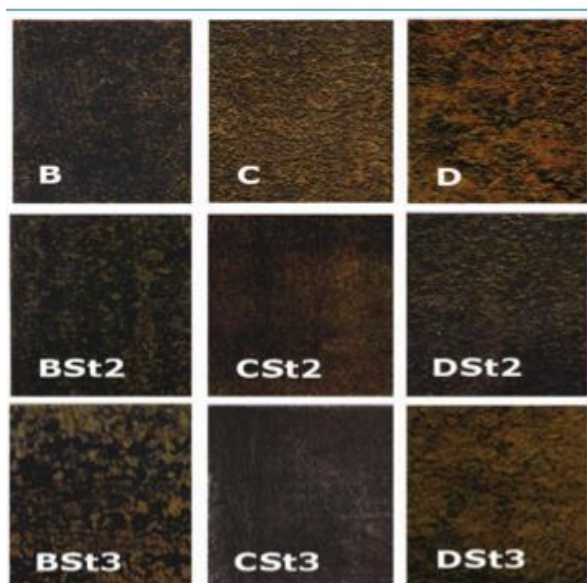
Como podemos ver pela figura anterior existem diversos tipos de equipamento para tratamento mecânico. Consoante o tipo de superfície a tratar e sua localização, assim se utiliza cada um deles. Os discos de lixa são usados para zonas planas e para desbaste de camadas de tinta ou corrosão usando para tal diferentes granulometrias de disco.



Figura 7 – Diferentes granulometrias de discos de lixa.^[4]

Os martelos de agulhas são usados para remoção de produtos de corrosão mais conhecido como cascão. No que diz respeito às fresas são usadas para zonas de difícil acesso e para limpar zonas de picadura onde o disco de lixa não consegue chegar. Este tipo de tratamento é usado quando a área de corrosão a tratar é pequena ou de difícil acesso, podendo com este tipo de tratamento chegar a dois graus de tratamento mecânico St2 e St3.^{[1][2]}

Abaixo podemos visualizar o quadro que nos apresenta os padrões (segundo a norma EN ISO 8501-1) que podemos atingir para cada tipo inicial de superfície.^{[1][2][11]}



St 2 Limpeza manual e mecânica intensa

St 3 Limpeza manual e mecânica a fundo

Figura 8 – Tabela dos padrões de limpeza das superfícies usando métodos mecânicos segundo a norma EN ISO 8501-1.^{[2] [11]}

Este tipo de tratamento tem como desvantagens o baixo rendimento para áreas grandes ou em que tenha de remover-se po completo a tinta em substratos pintados.

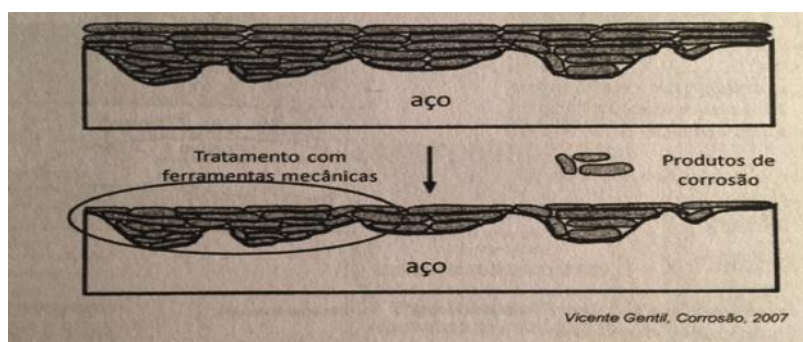


Figura 9 – Ilustração da superfície antes e depois do tratamento mecânico.^[6]

No que diz respeito a corrosão mais profunda, corrosão por picadura, estas técnicas não conseguem limpar no interior da picadura ficando sempre restos de produtos de corrosão, prejudiciais às camadas de primário aplicadas sobre essa mesma zona.

Abaixo podemos ver uma ilustração do que acontece ao se fazer este tipo de tratamento.

Como podemos ver pela figura anterior a presença de produtos de corrosão mantém-se após o tratamento mecânico, isto pode significar um problema a longo prazo, iniciando-se novamente o processo de corrosão se as camadas de revestimento não forem bem aplicadas, perdendo o efeito barreira contra o meio agressivo.

1.3.2 Tratamento da corrosão – Tratamento por decapagem com abrasivo seco.

A decapagem com abrasivo seco é um método que consiste em projectar o abrasivo contra a superfície arrastado por um fluido (Ar) dependendo fundamentalmente da eficiência da energia com que o abrasivo choca com a superfície. Poderam se utilizados fluidos de arrastamento do abrasivo por exemplo água.

A decapagem com abrasivo seco é o tipo de tratamento mais comum em estaleiros navais no tratamento de corrosão quer em costados, convés ou tanques. Para realizar este tipo de tratamento é usado equipamento técnico para o efeito e trabalhadores com formação em decapagem. Abaixo iremos ver os equipamentos usados quer a nível operacional quer a nível de proteção individual.

Equipamento de decapagem.^[4]



Compressor



Cubas

É montado um compressor elétrico ligado a uma garrafa de ar onde é feita a separação da humidade existente no ar e posteriormente ligado a cubas, estas são cheias com o abrasivo. Da cuba sai uma mangueira de borracha até ao bico.



Mangueira [4]

Esta apresenta uma espessura capaz de suportar a pressão de 9 bar e o atrito provocado pelo abrasivo ao passar pela mesma.



Bicos[4]

A mangueira é ligada ao bico de decapagem, estes apresentam diferentes tamanhos abaixo de 9,5 mm.

O bico é manuseado por operadores formados, estes estão protegidos por equipamento adequado á decapagem com abrasivo.



Equipamento de proteção [4]



Purificador de ar [4]

Como podemos ver nas imagens anteriores os operadores utilizam um capacete de proteção com ar fresco, purificado através de um purificador de ar.

Este tipo de tratamento é utilizado quando se tem uma área com corrosão significativa, quando se pretende criar rugosidade no substrato (aço) ou numa camada de revestimento que demonstre alguma falta de adesão por parte das outras camadas e para remover contaminantes do substrato, embora não na sua totalidade.

Na decapagem podem ser usados diferentes tipos de abrasivos dependendo do tipo de material a decapar, tipo de perfil que se pretende para o substrato ou mesmo da condição do substrato. Temos como abrasivos:

Metálicos	Não Metálicos
Ferro fundido	Garnet
	Escoria de cobre
Aço vazado	Escoria de níquel
Arame de aço cortado	Escoria de carvão
	Escoria de ligas ferrosas
	Óxidos de alumínio fundido

Tabela 2 – Tipos de abrasivos segundo a Norma ISO 8504-2.^{[1][2][12]}

Embora exista esta diversidade de abrasivos os mais usados em reparação naval são os não metálicos: a escória de cobre e o garnet.

Dependendo do material a decapar, composição química do abrasivo, tipo de perfil pretendido e a rugosidade exigida para o tipo de recobrimento a aplicar assim se irá escolher o tipo de abrasivo a usar. Se decapar um substrato em que não se pretende criar um perfil muito profundo é usado o garnet, devido á sua forma esférica apresenta um perfil ondulado usado para substratos mais macios como bronzes, por outro lado para tratar corrosão será usado a escória de cobre, que para além de criar um perfil bastante rugoso limpa todos os produtos de corrosão existentes no substrato. Devido á sua forma angular irá criar um perfil mais irregular no substrato criando uma melhor ancoragem do recobrimento.^{[1][2]}



Figura 10 – Abrasivos mais usados em reparação naval.^[4]

Como podemos ver pela figura anterior é notória a diferença entre os grãos destes diferentes abrasivos.

Temos três categorias de abrasivos, os esféricos chamados de “Shot” (S), os angulares chamados de “Grit” (G) e os cilíndricos (C). Para cada uma das duas primeiras categorias temos a obtenção de diferentes perfis de decapagem.^{[1][2]}

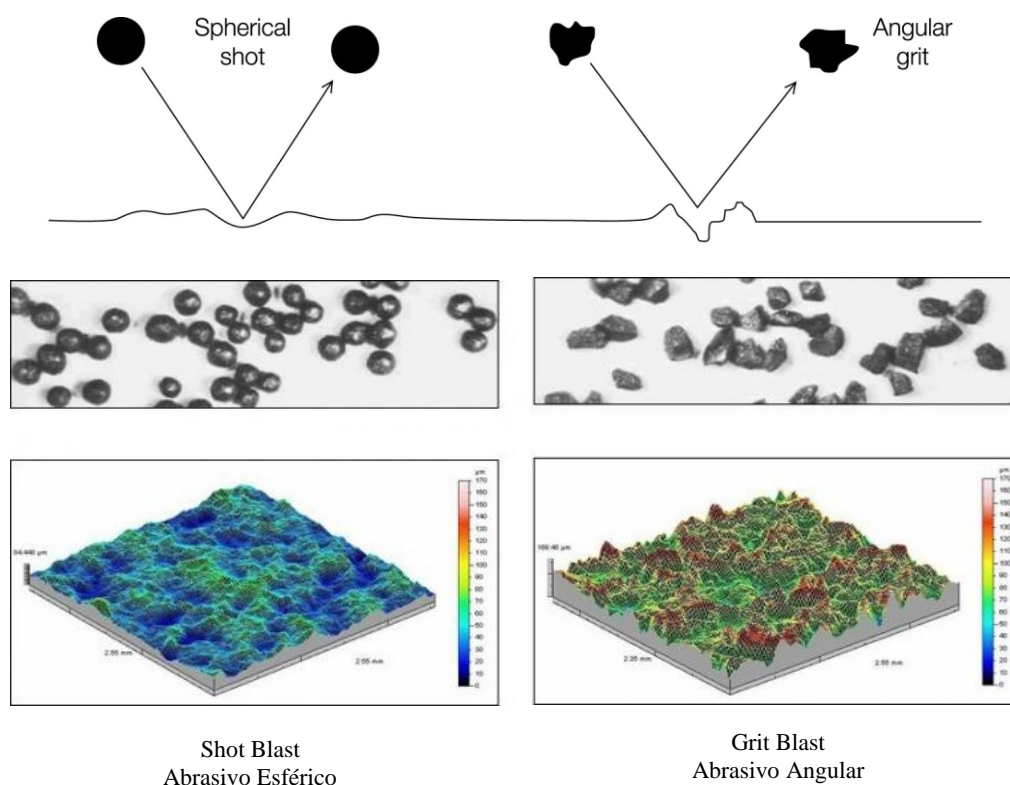


Figura 11 – Ilustração dos diferentes perfis obtidos para os diferentes abrasivos.^[4]

Os abrasivos também podem ter contaminantes, seja por mau armazenamento, transporte ou produção. Dai a importância de saber se os mesmos estão descontaminados, livres de óleos, humidade e sais.

Para a determinação dos sais num abrasivo é usada a norma ISO 11127-6 que consiste na mistura do abrasivo com água destilada e após agitação e espera pelo mesmo assentar medir a condutividade da água antes e após agitação.^[13]

Para verificar se um abrasivo está contaminado com óleos ou humidade é usado um papel absorvente com o qual se enrola algum abrasivo, se o papel estiver manchado significa que está contaminado.

Com a utilização destes abrasivos podemos obter diferentes graus de limpeza por decapagem com abrasivo seco, sendo esses os seguintes.^{[1][2]}

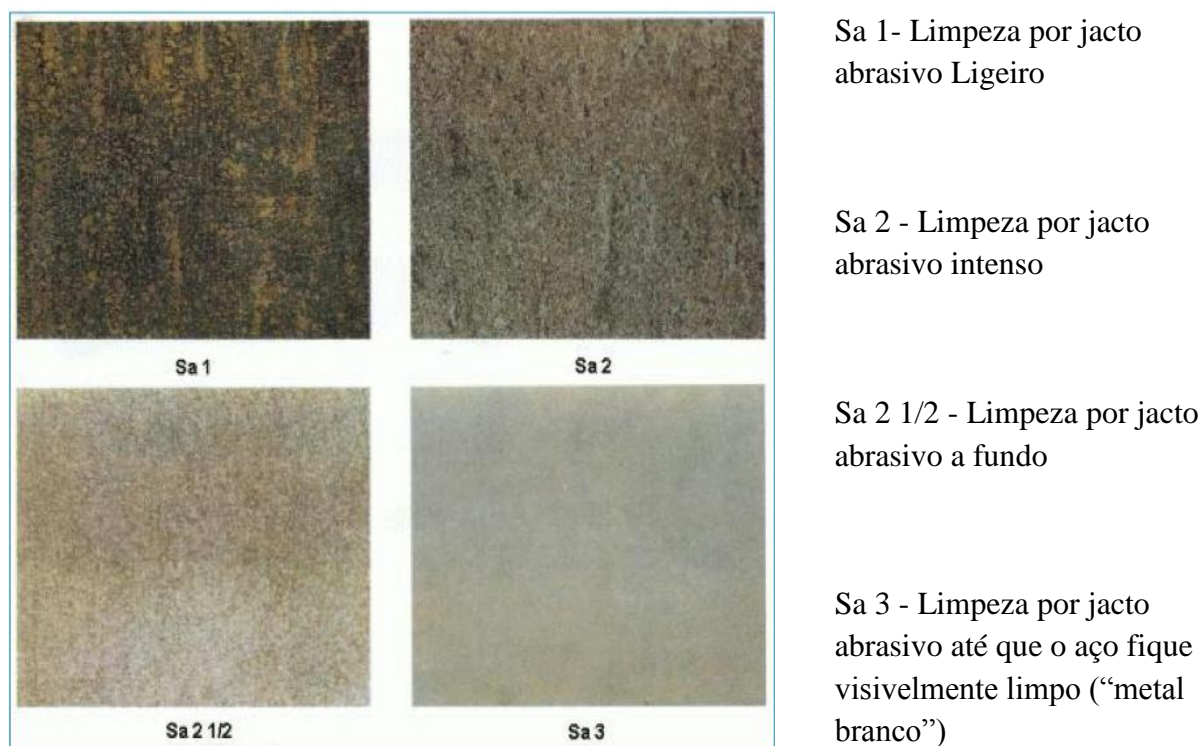


Figura 12 – Standard de decapagem para os diferentes graus de corrosão segundo a norma ISO 8501-1.^{[1][11]}

Para cada grau de óxido do substrato temos:

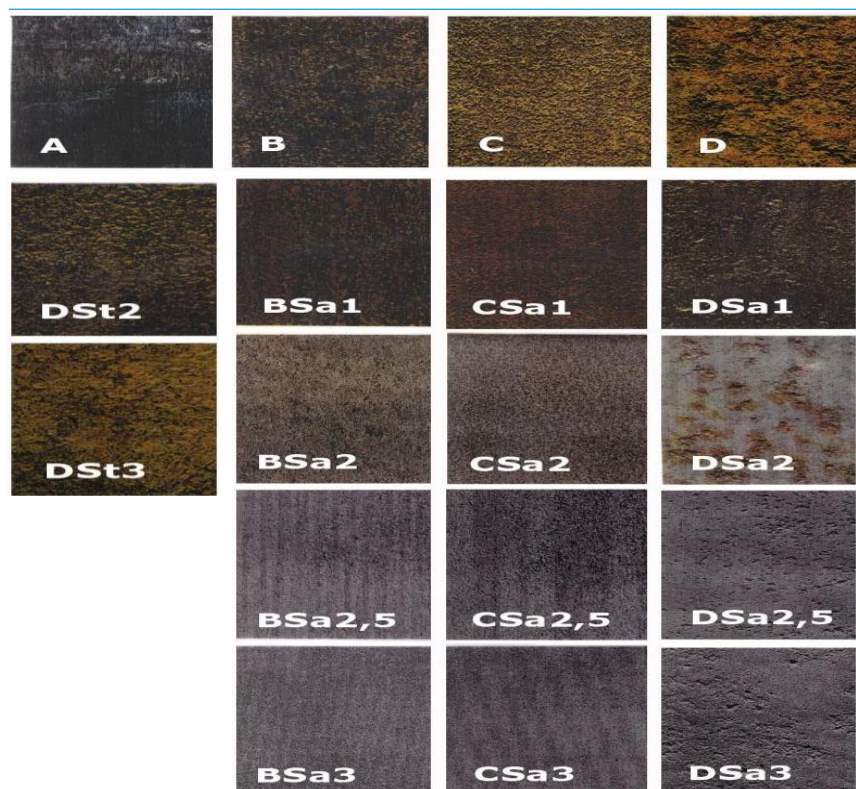


Figura 13 – Graus de preparação de superfície para os diferentes graus de óxido segundo a norma ISO 8501-1.^{[1][11]}

A decapagem com abrasivo seco tem como desvantagens:

- Formação de pó;
- Não descontamina a superfície na sua totalidade;
- Poderá ficar incrustado no substrato restos de abrasivo que pode mais tarde criar pontos de fragilidade nos recobrimentos aparecendo corrosão;
- Projeções de abrasivo em diferentes direções o que não possibilita a utilização desta limpeza em zonas sensíveis do navio como por exemplo casa da máquina.^[1]

Embora tenha algumas desvantagem este método de limpeza apresenta bastantes vantagens:

- Permite conseguir diferentes perfis de rugosidade no substrato o que permite uma boa ancoragem dos recobrimentos;

- É um processo bastante produtivo conseguindo bons rendimentos de trabalho;
- O equipamento pode ser móvel ou fixo consoante o trabalho a desenvolver;
- Permite numa só operação limpeza, rugosidade, nivelamento;
- Permite eliminar seletivamente recobrimentos danificados até chegar a recobrimentos saudáveis;
- Processo que pode ser usado em substratos, para tal só se necessita de seleccionar o abrasivo a usar.^[1]

Podemos ver de seguida uma ilustração do estado da superfície antes e após a decapagem.

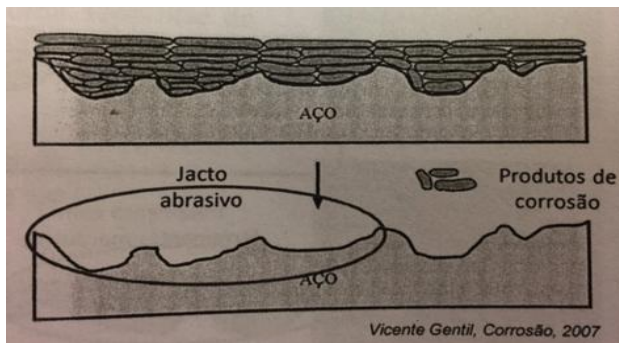


Figura 14 – Ilustração da superfície antes e depois do tratamento com decapagem.^[6]

Como podemos observar pela ilustração anterior a limpeza com jacto abrasivo apresenta uma superfície isenta de produtos de corrosão e no respeito á rugosidade esta apresenta um perfil que irá permitir uma boa ancoragem da primeira demão de tinta (primário).

A inspeção da decapagem no que diz respeito a controlo de qualidade é feita visualmente detectando contaminantes que sejam detetáveis a simples vista, são feitos testes de sais e é avaliada a rugosidade usando rugosímetros digitais, comparadores táctil - visual segundo a norma ISO 8503-2. A rugosidade é avaliada segundo a norma ISO 8503-2 como fino, medio ou grosso. Por exemplo para um recobrimento de Epoxy poliamina usaremos uma rugosidade entre 50-80 μm mas para um revestimento de etil silicato de zinco usaremos uma rugosidade de 25-40 μm .

As imagens seguintes mostram-nos os diferentes equipamentos usados para esta determinação.^{[1] [14]}



Figura 15 - Ilustração dos diferentes tipos de inspeção, nos quais temos, inspeção visual, equipamento electrónico de medição e comparadores de rugosidade.^{[3][4]}

1.3.3 Tratamento da Corrosão - Hidrodecapagem

Hidrodecapagem Manual

A hidrodecapagem pode ser realizada de duas maneiras distintas, robotizada ou manual.

Na hidrodecapagem manual é utilizado equipamento móvel e a sua operação é feita através de operadores devidamente formados.



Maquina de hidrodecapagem



Pistola de hidrodecapagem

Como podemos visualizar pelas ilustrações acima a máquina é ligada a uma pistola que é manuseada pelo operador devidamente protegido por equipamento específico para o efeito.

A hidrodecapagem manual tem como principal vantagem:

- Descontaminação na sua totalidade de sais presentes no substrato;
- Não existe pó;
- Remoção de produtos de corrosão.^[1]

Tendo como desvantagens:

- Fracos rendimentos de trabalho;
- Embora a superfície seque quase instantaneamente com a temperatura a que o substrato chega com a projeção da água, esta promove a corrosão se não são adicionados inibidores de corrosão;
- Cria uma superfície mate, ou seja não irá criar rugosidade.^[1]

Hidrodecapagem Robotizada

Na hidrodecapagem robotizada temos um robô que é colocado na superfície, fixada por magnetos permanentes que o agarram à superfície. Através de comandos à distância é operado por operadores formados a uma pressão até 2500bar. Toda a água que sai da superfície é sugada através de uma bomba para um depósito de detritos, deixando a superfície completamente limpa e seca devido à temperatura que atinge o substrato ao ser atingido pela água a alta pressão.



Fotografia 3 – Hidrodecapagem robotizada.^[3]

A hidrodecapagem robotizada tem como vantagens:

- Recolha de todos os detritos para uma cisterna de detritos, permitindo que a nível ambiental seja uma tecnologia limpa;
- Remoção do substrato de contaminantes como sais e produtos de corrosão.

Tem como desvantagem:

- Não conseguir fazer zonas de corrosão localizadas tendo que fazer uma hidrodecapagem em toda a superfície
- Dificuldades em deslocar-se em zonas com deformação ou relevo

Hidrodecapagem - Operacionalidade

A hidrodecapagem é definida segundo a norma ISO 8501-4, equivalente á SSPC - SP12, em termos de pressões do seguinte modo: ^[8]

Hidrodecapagem	Intervalo de Pressões
Limpeza com decapagem de água a Alta pressão	700bar até 1200bar
Limpeza com decapagem de água a ultra alta pressão	Acima de 1200bar

Tabela 4 – Tipos de Limpeza com decapagem de água segundo a norma SSPC - SP12.^{[1][2]}

Em superfícies pintadas o estado inicial da mesma é classificado em três categorias DC A, DC B e DC C segundo a norma ISO 4628 - 3. Na tabela seguinte é definido cada categoria.^[10]

Condições	Descrição da Superfície
DC A	As superfícies apresentam uma percentagem de oxidação de 1%, Grau Ri3
DC B	As superfícies apresentam uma percentagem de oxidação de 8%, Grau Ri4
DC C	As superfícies apresentam uma percentagem de oxidação de 40/50 %, Grau Ri5, completamente degradado como ilustrado na ISO 8501-1, Grau C

Tabela 5 – Graus de superfície segundo ISO 4628-3.^{[1][2][10]}

A norma apresenta um conjunto de padrões fotográficos para comparação com as superfícies pintadas.

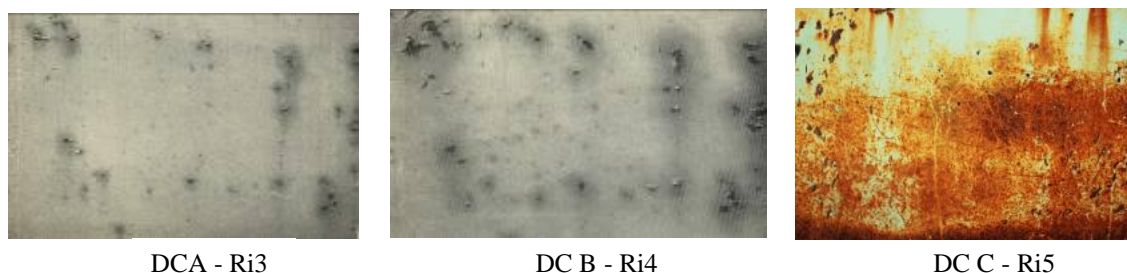


Figura 16 – Padrões Segundo ISO 4628-3.^{[1][2][4][10]}

Para estas três categorias de superfícies descritas atrás podemos obter três padrões de limpeza segundo a norma ISO 8501-4, Wa1, Wa2 e Wa2^{1/2}. [1]

Na tabela seguinte podemos ver a descrição de cada uma dessas categorias de limpeza.

Descrição das superfícies após limpeza por hidrodecapagem

Ligeira hidrodecapagem a alta pressão

Wa1 (ou Wj4)



Quando observadas sem ampliação, as superfícies devem estar isentas de óleos e gorduras, revestimentos por pintura soltos ou com defeitos, produtos de corrosão pouco aderentes e de contaminação. Qualquer contaminação residual deve ser aleatoriamente dispersa e firmemente aderente.

Hidrodecapagem a elevada pressão

Wa2 (ou Wj3)



Quando observadas sem ampliação, as superfícies devem estar isentas de óleo, gorduras e poeira, assim como da maioria dos produtos de corrosão, revestimentos de pintura e de contaminação. Qualquer contaminação residual deve ser aleatoriamente dispersa e deve estar firmemente aderente.

Hidrodecapagem a ultra alta pressão

Wa2^{1/2} (ou Wj2)



Quando observadas sem ampliação, as superfícies devem estar isentas de óleos, gorduras, corrosão visível, poeiras e revestimentos orgânicos e, excepto se forem vestígios, de todas as contaminações. A descoloração da superfície pode estar presente desde que o revestimento original não esteja intacto. A coloração cinzenta ou preta/ castanha observada nas zonas de picada

e em aço corroído é permitida desde que esta não possa ser removida por nova hidrodecapagem.

Tabela 6 – Graus de limpeza de hidrodecapagem segundo a ISO 8501-4.^{[1][4][8]}

Para cada categoria de estado inicial da superfície obtemos as seguintes ilustrações fotográficas de limpeza da superfície que servem como comparador.

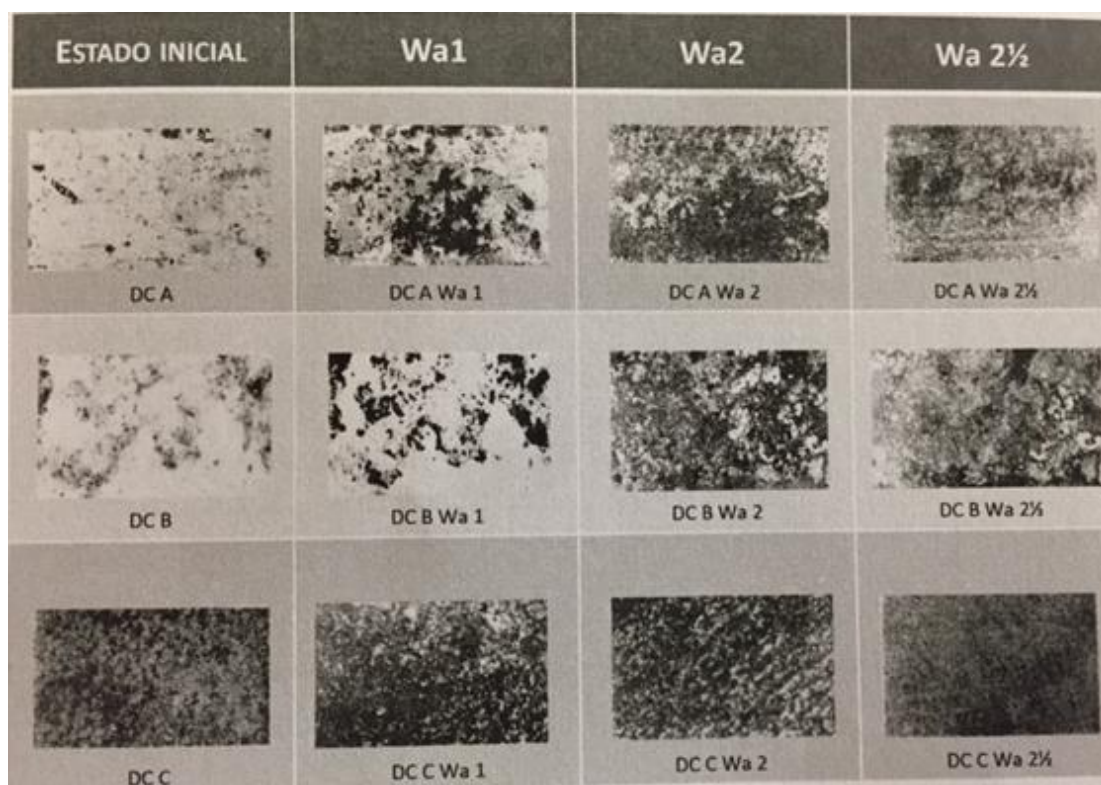


Figura 17 – Padrões fotográficos para os diferentes graus de limpeza segundo as categorias iniciais da superfície.^[6]

Na hidrodecapagem ou mesmo na decapagem a seco, quando esta é lavada a alta pressão com água, um dos parâmetros a ter em conta é o Flash Rust. Flash Rust é a corrosão inicial e que se desenvolve de uma forma rápida e instantaneamente quando o aço é exposto a condições corrosivas. O flash rust tem uma coloração amarela e pode ser classificado em três graus.

Categorias de Flash Rust

FR L - “Light Flash Rust”

Quando visualizado a olho nu, denota-se pequenas quantidades de ferrugem de coloração castanho claro, descolorando a superfície metálica da sua cor original.

A descoloração pode ser uniformemente distribuída ou em manchas. Apresentasse aderente á superfície metálica não se conseguindo marcar facilmente um objecto por ação de escovagem contra a mesma.

FR M - “Medium Flash Rust”

Quando visualizado a olho nu, denota-se pequenas quantidades de ferrugem de cor castanha clara que escurece a superfície metálica inicial. Esta camada apresenta-se distribuída de forma uniforme ou irregular. Apresenta maior quantidade de ferrugem castanha clara que por ação de escovagem com um objecto marca o mesmo.

FR H - “Heavy Rust”

Quando visualizado a olho nu, denota-se grandes quantidades de ferrugem de cor castanha escuro que escurece toda a superfície metálica inicial. Esta camada apresenta-se distribuída por toda a superfície. Apresenta grandes quantidades de ferrugem castanha escura que por ação de escovagem com um objecto marca facilmente o mesmo em grandes quantidades de ferrugem.

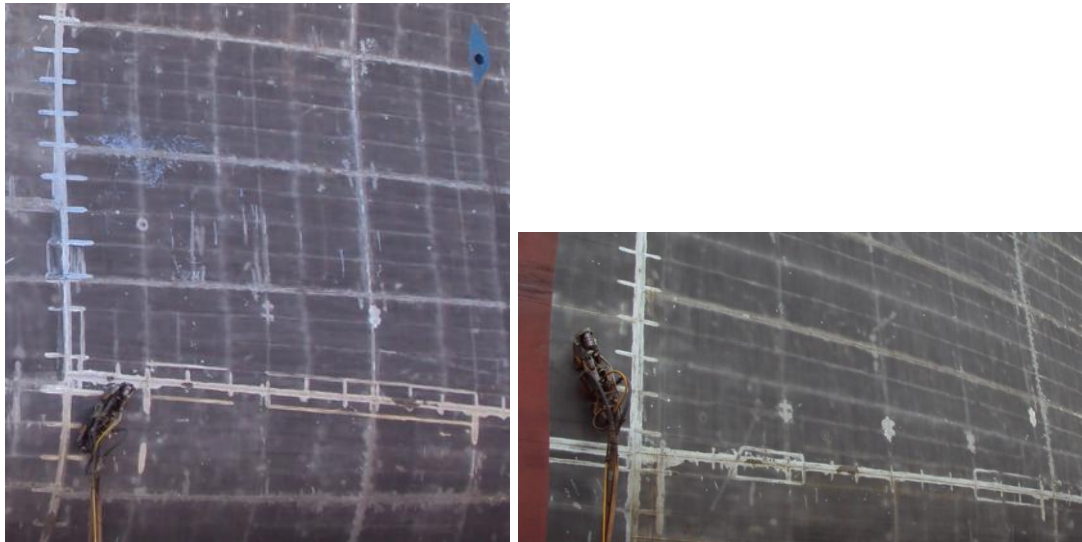
Tabela 7 – Diferentes Graus de flash rust.^{[1][2]}

Desvantagens da sua utilização - Decapagem Vs. Hidrodecapagem

Embora a hidrodecapagem seja até hoje a melhor opção para substituir a decapagem a seco, esta apresenta algumas desvantagens ainda não colmatadas pelas empresas que desenvolvem este tipo de tecnologia. Sendo por vezes necessário recorrer a decapagem a seco.

O facto da hidrodecapagem não conseguir criar rugosidade na superfície, faz com esta por vezes seja rejeitada por muitos clientes e fornecedores de tintas.

Nas fotografias seguintes podemos observar as zonas sem rugosidade que a hidrodecapagem também não lhe consegue conferir.



Fotografia 4 – Soldaduras limadas, fraca rugosidade.^[3]

Os navios ao serem construídos são feitos em blocos, previamente tratados com decapagem a seco e posteriormente ligados. Essas zonas de ligação são tratadas mecanicamente não conseguindo criar a devida rugosidade para uma boa ancoragem do revestimento. Aos 5 anos de vida os navios fazem a primeira docagem de manutenção apresentando nessas zonas de ligação, aço visível e corrosão, devido a falta de rugosidade. A hidrodecapagem não conseguindo criar rugosidade é deixada para segundo plano por muitos clientes. Terá sempre de decapar-se essas zonas de ligação para criar a devida rugosidade, aumentando os custos para a reparação. Uma melhor utilização

A hidrodecapagem também não consegue aceder a todas as zonas salientes ou deformadas dos navios e uma vez que a hidrodecapagem manual não tem o rendimento suficiente para cumprir prazos de reparação continua, daí a frequente opção pela decapagem com abrasivo seco.

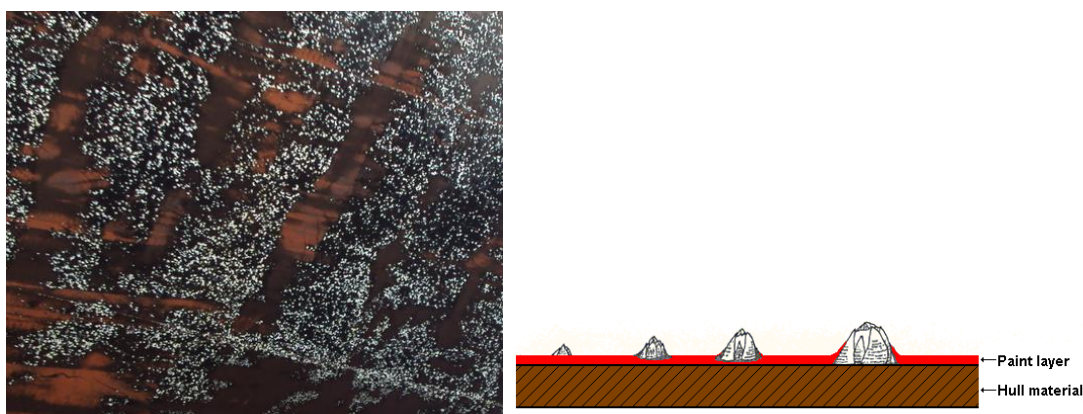
Contudo muitos clientes optam por tratar os seus navios recorrendo às duas tecnologias, fazendo o tratamento das áreas de difícil acesso e com falta de

rugosidade com decapagem a seco e áreas de fácil acesso com hidrodécapagem robotizada de forma a preservar o meio ambiente.

1.3.4 Navio em estudo

Costado

Após a lavagem do costado do navio fez-se inspeção visual de condição do mesmo de forma a definir, em conjunto com fornecedor de tintas, o tratamento mais adequado. Podemos verificar que o fundo do navio apresenta bases de marisco agarradas ao revestimento, não tendo sido possível remover por raspagem. Também é evidente a presença de corrosão dispersa pelo fundo chato do navio.



Fotografia 5 – À esquerda fotografia das bases de marisco após lavagem, á direita temos uma ilustração do crescimento deste ser vivo.^{[3][4]}

Durante a lavagem do navio alguns dos mariscos existentes foram removidos por completo, porem alguns estão infiltrados no revestimento como podemos ver atrás. Após a raspagem fica a base do marisco.

De forma a remover as bases dos mariscos e criar uma superfície o mais uniforme, foi decidido fazer no fundo do navio uma decapagem geral ao grau Sa1 removendo as bases de marisco.

Na corrosão existente no fundo do navio foi decidido completar a decapagem ao grau PSa2 em “spots” uma vez que a corrosão se apresentava dispersa por todo o fundo.



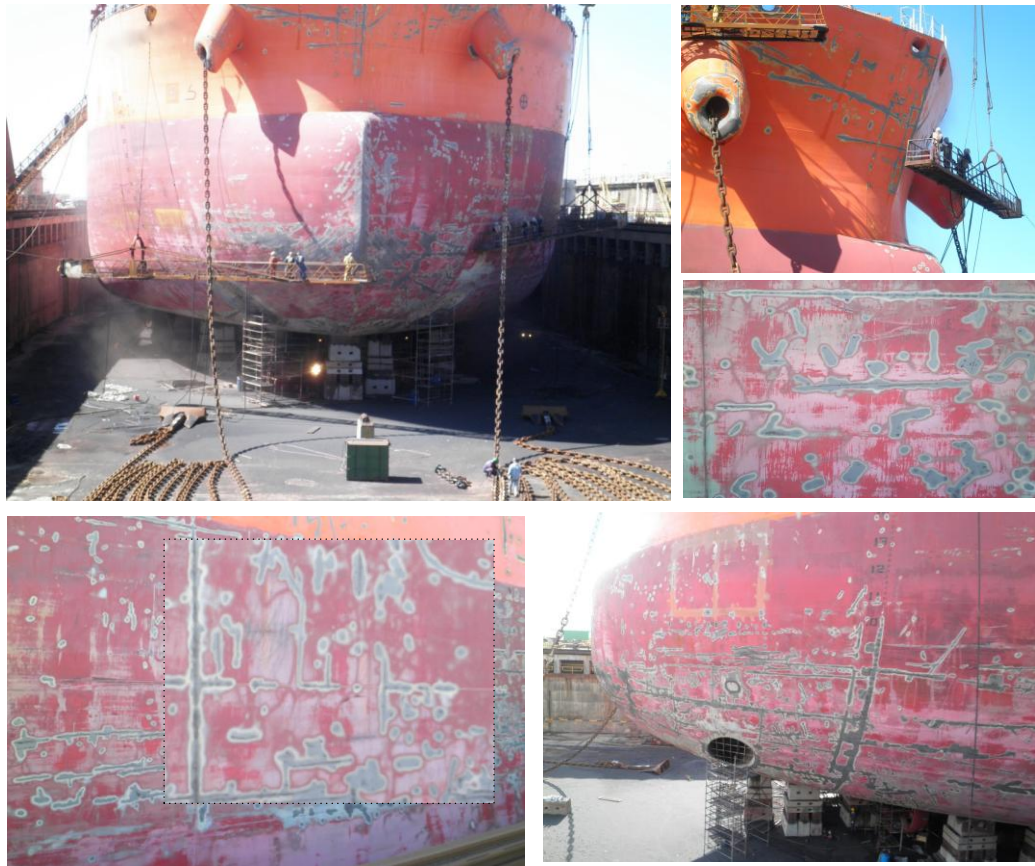
Fotografia 6 – Resultado final da decapagem no fundo do navio, Decapagem geral ao grau Sa1 com spots PSa2.^[3]

Nas zonas laterais do navio (costado) foi feita inspeção de condição da superfície apresentado um revestimento com alguma corrosão dispersa pela superfície, localizando-se esta com maior intensidade nas zonas onde o sistema de pintura é danificado quando o navio encosta aos cais. O revestimento apresenta uma boa adesão á superfície, não apresentando fissuração, empolamento ou quaisquer falta de aderência entre demãos de tinta.



Fotografia 7 – Condição inicial das laterais do navio.^[3]

Ficou decidido fazer apenas decapagem com abrasivo seco ao grau PSa2 das zonas de corrosão dispersa, deixando o resto do revestimento já existente intacto. O resultado final foi satisfatório atingindo os objectivos propostos.



Fotografia 8 - Decapagem com abrasivo seco no costado.^[3]

Após concluída a decapagem foi feita a inspeção, para tal foram realizados testes de sais em diversas zonas do costado e fundo chato apresentando valores dentro dos limites de salinidade especificados pelo fornecedor de tintas. A decapagem foi considerada aprovada passando para a próxima atividade.

A decapagem foi lavada a uma pressão de 200 bar de forma a descontaminar a superfície de poeiras derivadas da decapagem e sais incrustados no substrato nas zonas com produtos de corrosão. O resultado final da lavagem foi satisfatório apresentando uma superfície totalmente descontaminada. Após averiguado o grau de flash rust, encontrando-se no Medium Flash Rust, foi iniciada a pintura.



Fotografia 9 – Fundo Chato - Após lavagem 200bar da decapagem.



Fotografia 10 – Costado após lavagem da decapagem a 200bar.^[3]

Convés

Após lavagem a 200bar com desengorduramento , foi feita uma inspeção de condição de forma a decidir o tratamento mais adequado para o convés. Este apresentava corrosão dispersa por todo o convés concentrando-se mais nas zonas laterais, apresentando corrosão do grau D. Uma vez que o armador pretende mudar de revestimento e uma vez a corrosão já apresentar um grau D foi decidido remover todo o revestimento existente ao grau DSA2 de modo contínuo e integral. A decapagem decorreu em **9 dias** usando para tal 30 decapadores. Apesar de ser uma decapagem

seguida a tinta a aplicar não sendo compatível com flashRust impediu a utilização da tecnologia com água.



Fotografia 11 – Início da decapagem.^[3]

O resultado final foi satisfatório apresentando uma decapagem com uma rugosidade dentro dos parâmetros especificado pelo fornecedor de tintas (entre 50-80 μ m) permitindo a ancoragem do novo revestimento primário. Os produtos de corrosão foram totalmente removidas da picadura não apresentando qualquer resquício dos mesmos.



Fotografia 12 – Após o primeiro dia de decapagem e limpeza.^[3]



Fotografia 13 – Condição final de limpeza ao grau SA2.^[3]

Podemos ver fotograficamente que todo o revestimento inicial foi removido quer da superfície quer de zonas difíceis, os produtos de corrosão foram removidos por completo da superfície e da picadura. A coloração escura na zona de picadura é devido a produtos contaminantes provenientes dos produtos de corrosão nas zonas de picadura, sendo feito um leve batimento com decapagem antes da pintura.

Na zona de interligação entre convés e estruturas nele montadas foi feito um rodapé de 20 cm apresentado um bom afagamento sem tintas soltas, permitindo uma boa ancoragem entre o revestimento existente e o novo.

De forma a finalizar e aprovar a decapagem para passar á pintura foram feitos testes de sais e rugosidade. Estes passaram com sucesso apresentando valores dentro dos limites especificados pelo fornecedor de tintas (valor máximo 20mg/m²).

1.4. Revestimento

1.4.1 Tintas

O revestimento recorrendo a tintas tem como principio básico proteger o substrato de meios agressivos, que funcionando como barreira entre esse mesmo meio e o substrato, quer funcionando como inibidor de corrosão, sendo também aplicados revestimentos que têm como principio ativo proteção catódica.

As tintas têm diferentes funções como decoração, identificação, aviso, camuflagem, segurança, imagem, facilidade de limpeza e proteção de substratos. Os substratos

podem ser de diferentes naturezas madeira, protegendo esta do envelhecimento, betão, protegendo este de corrosão das armaduras e carbonatação, obras vivas de navios, protegendo estes da fauna e flora marítima e o aço, protegendo este da corrosão.

As tintas têm quatro constituintes sendo esses os seguintes.^[1]

Constituintes das Tintas



Solventes:

Derivados da indústria petroquímica e que participam no acerto da viscosidade, na aplicabilidade e no tempo de secagem da tinta. Temos como exemplo: White spirit, xilenos, Etil-metil-cetona, Metil-isobutil-cetona, álcool butílico.



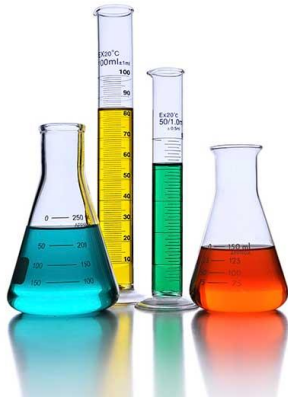
Ligante:

Também conhecido como veículo ou ligantes, são responsáveis pela formação do filme seco e que condiciona as características físicas da tinta, como dureza, brilho, aderência e secagem. Temos como exemplos, resinas alquídicas, epoxídicas, acrílicas, poliuretano e silicatos



Pigmentos:

Os pigmentos condicionam a cor, a resistência aos UV, resistência mecânica e a corrosão do substrato. Estes podem ser divididos em três categorias, pigmentos corantes: dióxido de titânio, ftalocianina e óxidos de ferro, pigmentos auxiliares ou “cargas”: carbonato de cálcio, barita, talco e sulfato de bário e por fim os pigmentos funcionais: óxido de cuproso, fosfato de zinco e óxido de ferro micáceo.



Aditivos:

Têm como objectivo melhorar as características das tintas em cujas formulas participam.

Exemplos:

Tenso-ativos (dispersantes e molhantes): ajudam ao contacto do ligante com os sólidos e ajudam a dispersar os pigmentos.

Modificadores de reologia: Condicionam o aspeto na lata, contrariam a tendência dos sólidos para sedimentar, melhoram as propriedades de aplicação (escorridos e salpicos), espessura por demão, lacagem.

Biocidas: protegem a tinta de ataques de microrganismos na fase líquida e no filme seco.

Anti - pele: combatem a formação de pele nas tintas alquídicas.

Coalescentes: ajudam à formação do filme de tintas de emulsão aquosa.

Secantes: catalisam a formação do filme das tintas

O processo de cura de uma tinta é complexo pois a estrutura macromolecular constituída a partir do ligante, englobando em si partículas dos pigmentos, cargas e aditivos que foram adicionados com fins diversos, é que vai permitir a formação de uma película seca, dura e contínua.^[1]

Mecanismos de secagem

Contudo, de um modo simples, pode explicar-se a formação da película seca pela predominância de um dos seguintes mecanismos:

- Secagem Física - Evaporação dos solventes e diluentes;
- Curado Químico - Polimerização auto-oxidativa ou auto-oxidante e Reações de polimerização.^[1]

Secagem por evaporação dos solventes e diluentes – secagem física

No caso mais comum, a evaporação do diluente e/ou solvente inicia-se mesmo durante a aplicação da tinta sobre uma superfície. Todavia, a formação da película seca só se dá quando essa evaporação originar um estado tal em que todas as moléculas entrem em contacto umas com as outras sobre a ação de forças

intermoleculares atrativas. Ex.: Tintas Acrílicas, Vinílicas.^[1]

Secagem por reação com o oxigênio do ar – Curado Oxidativo

No caso em que predomina como ligante um óleo secativo, a secagem da tinta é devida principalmente à ocorrência da reação de polimerização auto oxidativa ou auto oxidante. Esta polimerização baseia-se no facto do ligante absorver o oxigênio do ar por um processo auto oxidante. Este mecanismo observa-se quer os ligantes sejam, óleos secativos ou resinosos, ou resinas alquídicas modificadas com óleos secativos.

Ex.: Tintas alquídicas, Epoxy esteres.^[1]

Secagem por reações de polimerização – secagem química

Neste grupo estão incluídas as tintas em que durante o processo de endurecimento o ligante está sujeito a reações de polimerização, por exemplo reações de polimerização por condensação gradual ou de adição em cadeia. Estas reações ocorrem comumente sob determinadas condições, das quais se destacam, as seguintes:

- **Ação de um agente de cura** – Este agente é designado, muitas vezes, impropriamente por catalisador. Neste caso, o veículo é formado por dois componentes que, quando misturados à temperatura ambiente, dão origem a uma reação de polimerização, que produzirá um polímero de elevada massa molecular. Ex.: Resinas epoxídicas modificadas com aminas ou poliamidas e poliuretanos de dois componentes.
- **Ação da humidade** – Veículo que reage com a humidade do ambiente, dando origem a um polímero reticulado. Ex.: Poliuretano de um componente, silicones, silicatos.

Na reparação naval são usadas três tipos de tintas com maior frequência, tintas alquídicas, epoxídicas, poliuretanos e as anti-incrustantes.^[1]

1.4.2 Tipos de tintas

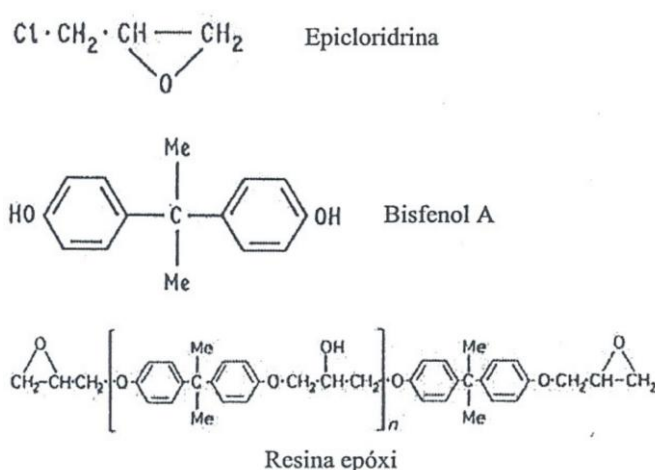
Tintas Alquídicas

São produzidas por esterificação de poliácidos e polióis, com modificação por ácidos gordos. A película poderá ser formada por reação com o oxigênio do ar ou por reação com resinas amínicas. Temos na sua cadeia as tintas alquídicas modificadas.

- **Alquídicas estirenadas:** tintas de secagem muito rápida.
- **Alquídicas uretanadas:** solução para espessuras secas mais elevadas.
- **Alquídicas fenólicas:** Melhor aderência, melhor resistência química, melhor dureza e secagem mais rápida.
- **Ésteres de epoxy:** Melhor resistência química e propriedades mecânicas, Ex.: Primários de zinco.^[1]

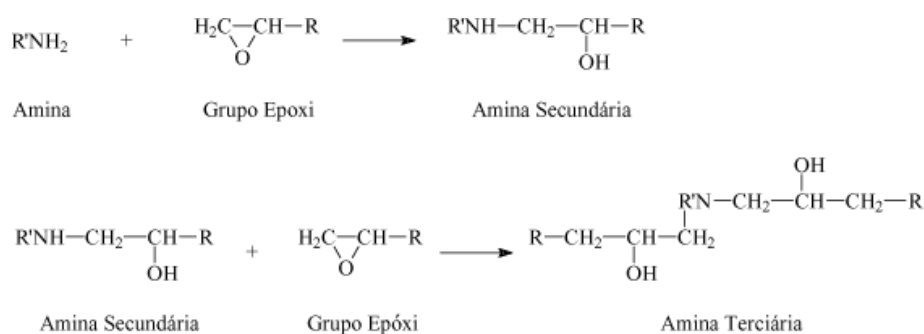
Tintas Epoxídicas

As resinas epoxídicas mais comuns são produzidas por reação entre epícloridrina e bisfenol A ou bisfenol B.



Mecanismo 1 - Mecanismo de formação da resina epóxy.^[4]

Formando películas por reação com poliaminas,



Mecanismo 2 - Mecanismo da reação entre amina e grupo epóxy.^[4]

Estes revestimentos caracterizam-se por ser fortemente aderentes aos substratos metálicos com uma elevada resistência mecânica, resistência à água e aos ácidos. Razoável resistência em meios alcalinos. Têm como desvantagem fraca resistência aos UV demonstrando alguma farinação e gizamento.

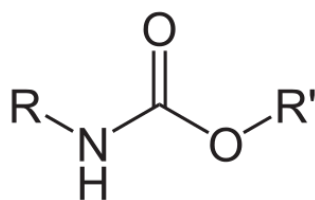
As tintas epoxídicas apresentam uma vasta variedade de produtos sendo esses os seguintes:

- **Epoxy Mastic:** permitem uma elevada espessura, “surface tolerant”, não agridem películas existentes.
- **Epoxy sem solvente:** resinas líquidas cuja reação com o endurecedor é exotérmica elevando a temperatura da mistura, tempo de vida curto após mistura, a mistura pode ser feita na pistola de aplicação.
- **Epoxy com fibra de vidro:** para uma ultra resistência ao impacto e á abrasão.
- **Epoxy fenólicos:** produtos altamente reticulados e de alta resistência a produtos químicos.

Na reparação naval as tintas mais usadas no revestimento dos substratos metálicos são as tintas epoxy mastic uma vez estas serem “Surface tolerant” permitindo pintar sobre flash rust. Contudo muito das outras variantes também se aplicam em substratos que se inserem em diferentes locais com meios corrosivos e esforço mecânico diferente.^[1]

Tintas de poliuretano

São resinas de poliéster ou acrílicas reativas, reagem com isocianatos.



Poliuretano

Figura 18 – Molécula de Poliuretano.^[4]

Este tipo de revestimento é usado como tintas de acabamento apresentando uma elevada resistência aos UV, resistência alcalinidade e resistência mecânica, protegendo todo o sistema de pintura aplicado.^[1]

Tintas Anti-Incrustantes

Um dos maiores problemas para a navegação é a presença, em zonas submergidas do casco, de incrustações de organismos vivos como moluscos e algas. Ainda que nem todos esses organismos provoquem corrosão, estes prejudicam a navegação em menor ou maior medida e periodicamente há que realizar operações de manutenção repintando os costados dos navios.

Por exemplo é possível que se chegue a armazenar 150kg de incrustações por metro quadrado em apenas 6 meses de navegação. Podendo implicar, num petroleiro de 40000m² de costado submergido 6000Tm de peso extra, implicando um consumo de combustível até 50% devido a perdas hidrodinâmicas.

Os Anti-incrustantes têm que apresentar como características as seguintes:

- Amplo espectro de atuação
- Baixa toxicidade para outros organismos, em especial mamíferos
- Baixa solubilidade em água
- Sem bioacumulação na cadeia alimentar
- Sem persistência no meio ambiente
- Compatível com os componentes das pinturas
- Favorável relação entre preço/desempenho

Dentro da família de tintas Anti-incrustantes temos as seguintes:

- **Convencionais** - Óxido de cobre usado como biocida e como ligante um óleo de termentina. Este ligante é parcialmente solúvel em água, pelo que vai libertando lentamente o biocida á medida que se vai dissolvendo o ligante. Tem como desvantagem ser uma tinta muito frágil e o efeito do biocida apenas ter uma duração de um ano.
- **Selfpolishing** - O biocida (óxido de cobre e compostos de zinco) está incorporado no próprio ligante (metacrilatos, organosililos) que reage com a água mediante hidrólise enquanto o navio se encontra em movimento. Como resultado dessa reação o biocida vai libertando-se á medida que a tinta vai perdendo espessura com a fricção com a água, com uma vida de serviço de 5 anos.
- **Anti-incrustantes (non-stick)** - Este tipo de tinta não apresenta na sua constituição o biocida, uma vez que funcionam mediante impedimento que ancoragem do organismo vivo ao costado imerso do navio, devido á sua escassa fricção com a água e baixa rugosidade apenas é necessário que o navio mantenha uma velocidade de 10-20 nos para que funcione. O ligante deste tipo de tintas é silicone ou Teflon e com uma vida em serviço de 5 anos.^[1]

1.4.3 Equipamentos de pintura

Equipamentos

A pintura é a fase mais importante no tratamento de superfície uma vez que esta será aquela que vai permitir que o substrato (aço) esteja isolado dos agentes agresivos que está sujeito no meio envolvente.

A pintura é feito consoante uma especificação de pintura em que é fornecida informação desde os bicos de pintura a usar até ás espessuras secas e humidas a aplicar.

Esta deve ser realizada por operários devidamente qualificados de forma a cumprir todos os requisitos especificados.

O equipamento para a sua aplicação pode diferir dependendo do revestimento usado. Neste trabalho foi usado pulverização sem ar (airless) usando maquinas de pintura 60:1 como podemos visualizar abaixo.



Figura 19 – Maquina de pintura a alta pressão 60:1 com funcionamento a 7 bar, debitando no bico 8,5 bar.^[4]

Para a aplicação podemos usar dois tipos de pistolas, as manuais ou as varas de pintura para longo alcance, como podemos visualizar abaixo.



Figura 20 – Pistola de pintura e vara de pintura.^[4]

Na pistola ou vara de pintura são usados os bicos de pintura que podem diferenciar consoante o efeito pretendido. Se tivermos a aplicar uma tinta epoxy poliamina mais conhecida como primario podemos usar um bico 7:23 se tivermos uma espessura na casa dos 180-250 microns húmidos, mas se tivermos que aplicar uma espessura de 150-180 microns humidos usamos um 7:21. Neste caso o que difere não é o angulo de atomização da tinta mas sim a furação do bico, ou seja a quantidade de tinta debitada.

Para a aplicação de uma demão de poliuretano, uma vez esta ser uma tinta de acabamento (cosmética) podemos usar um 6:23 ou 6:21, apresentando um leque mais curto permitindo menos overspray. No que diz respeito á furação neste caso como no anterior irá depender da espessura.

Para a aplicação de tinta em zonas localizadas os bicos usados vão desde os 4:21, 4:23 até aos 5:21, 5:23. Permitindo leques que permitem pintar apenas a zona pretendida. No que diz respeito á furação é o mesmo que os casos anteriores.

Quando temos aplicação de tintas anti-incrustantes a aplicação é feita com bicos de leque de 7 mas com furações na casa dos 25, 27 podendo chegar ao 30, uma vez esta tinta ser aplicada com elevadas espessuras.

Abaixo podemos visualizar bicos de pintura com diferentes tamanhos.



Figura 21 – Bicos de pintura.^[4]

A aplicação da tinta é feita por operadores especializados. Estes utilizam equipamento específico para o efeito. Para além do capacete e luvas estes têm que utilizar mascarar integral de pintura com filtros A3P3 feitos de pintura de forma a que esta atividade se torne menos agressiva para a sua saúde.



Figura 22 – Exemplo de pintor totalmente equipado.^[4]

1.4.4. Controlo de qualidade

Uma vez que o ser humano não é uma máquina em que colocamos uma espessura e este pinta na perfeição o pintor tem que medir a espessura húmida no decorrer da pintura de forma a afinar o ritmo e o número de passagem que tem que fazer na mesma zona para atingir a espessura especificada. Para tal o pintor tem consigo um medidor de espessuras húmidas medindo a cada 30 minutos de pintura. Abaixo podemos visualizar este medidor.

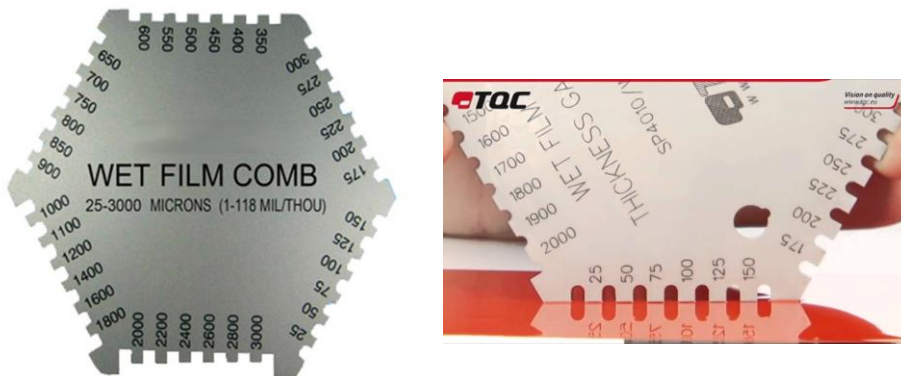


Figura 23 – Medidor de espessura húmida segundo norma ISO 2808.^{[4][1][15]}

No final da pintura é feita uma aferição com aparelho de medição de espessura seca digital. São feitas leituras ao longo de toda a área pintada onde nos é apresentado a média de espessura seca que a superfície apresenta, com a espessura nominal de película seca especificada e os critérios de aceitação da norma ISO 19840 a pintura é

aprovada ou rejeitada. Quando acontece alguma rejeição por espessuras baixas estas são repostas.

Abaixo podemos visualizar este tipo de aparelhos.



Figura 24 – Medidores de espessura seca.^[4]

Embora todas estas variáveis atrás descritas tenham que estar bem presentes na pintura a variável mais importante são as condições atmosféricas e o estado da superfície. No que diz respeito as condições atmosféricas estas têm que apresentar valores de humidade e temperatura ótimas para que a tinta seja aplicada. No que diz respeito á humidade esta tem que estar abaixo dos 85% quando aplicamos um primário ou anti-vegetativo e abaixo dos 80% para aplicar um poliuretano, a temperatura do substrato tem que estar 3°C acima da temperatura de ponto de orvalho, que é a temperatura á qual a humidade é de 100% e teremos condensação segundo a norma ISO 8502-4.^[16]

No que diz respeito á superfície esta tem que se apresentar completamente seca sem qualquer condensação. Estas condições são medidas normalmente por colaboradores especializados utilizando para o efeito um psicrômetro e um medidor de temperatura do aço como podemos ver abaixo.^{[1][2]}



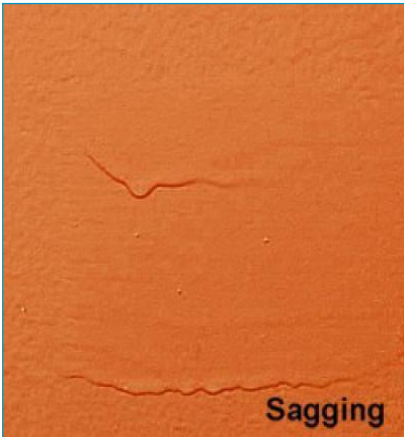
Figura 25 – Medidor de temperatura seca a húmida do ar e medidor de temperatura para superfícies.^[4]

Após as condições se apresentarem ótimas para a aplicação é dado o arranque da pintura tendo em conta todas as variáveis e equipamentos falados anteriormente.

Na pintura podemos ter alguns defeitos associados a diferentes fatores que devem ser controlados no decorrer da pintura.



Casca de laranja



Escorridos ou
bandas



Dry Spray



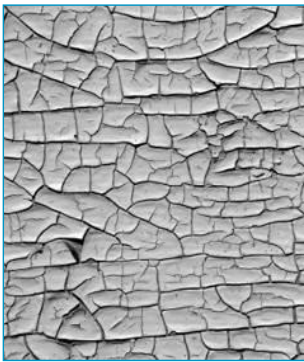
Descolamentos



Levantamento

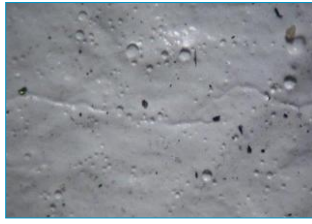


Porosidade ou
bolhas



Fisuras (mud cracking)





Carteares
(pinholes)



Olhos de peixe

Figura 26 - Tipos de defeitos de pintura.^[1]

Falando apenas nos mais comuns na reparação naval temos:

- Escorridos - Excesso de diluente ou espessura acima do especificado, atomização da pintura mal feita.
- Casca de laranja - Espessura acima do especificado, pistola muito longe da superfície.
- Enrugamento - Demão anterior não seca, pintura de uma tinta alquídica em que a secagem é muito rápida no exterior e no interior ainda não secou.
- Empolamento - Tintas não compatíveis, excesso de espessura no caso do Etil silicato de zinco.
- Crateras – Pintura de uma demão com espessura elevada em cima de uma demão de etil silicato de zinco.

Uma vez se verifique qualquer destes tipos de defeitos estes devem ser reparados de forma a não afetar o substrato, de forma a este ficar o máximo protegido do meio agressivo.^{[1][2]}

1.4.5 Navio em estudo

Costado

A pintura do costado, após todas as fases atrás realizadas, consistiu no esquema de pintura abaixo.

Fundo Vertical e Topside:

1ª Demão - Epoxy Poliamina



Aplicação da primeira demão de primário em retoques no vertical e Topside, com uma espessura de 100 microns segundo o especificado pelo fornecedor de tintas.^[3]

2ª Demão - Selante Epoxy Poliamanina



Aplicação da segunda demão de primário em retoques no topside e fundo vertical, com uma espessura de 100 microns segundo o especificado pelo fornecedor de tintas.^[3]



Demão Final - Acabamento Poliuretano no Topside e Anti-Incrustante do tipo SelfPolishing no Fundo vertical.



Aplicação da demão geral de acabamento Poliuretano no topside com uma espessura de 50 microns e Anti incrustante no fundo vertical com uma espessura de 175 microns segundo o especificado pelo fornecedor de tintas.^[3]

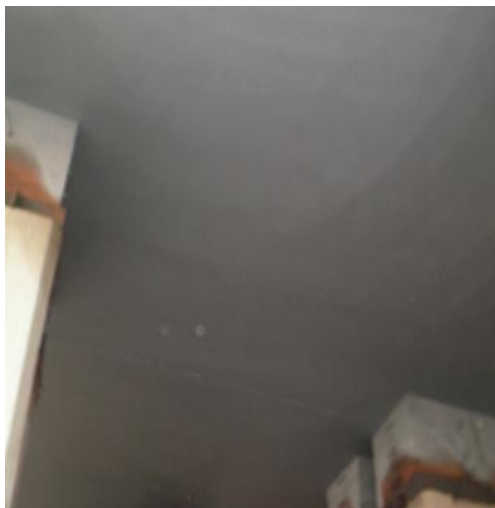
Fundo Chato:

1ª Demão - Demão de primário Epoxy poliamina



Aplicação da primeira demão geral Epoxy poliamina com uma espessura de 150 microns segundo o especificado pelo fornecedor de tintas.^[3]

2ª Demão - Demão de Selante Epoxy Poliamina



Aplicação da demão geral de Selante Epoxy Poliamina com uma espessura de 75 micros segundo o especificado pelo fornecedor de tintas.^[3]

Demão Final - Demão final de Anti-Incrustante



Aplicação da demão de Anti Incrustante do tipo SelfPolishing com uma espessura de 100 microns segundo o especificado pelo fornecedor de tintas.^[3]

O resultado final da pintura foi satisfatório cumprindo com os requisitos da especificação de pintura e dos procedimentos de trabalhos. As condições ambientais permitiram uma pintura dentro dos parâmetros aceitáveis segundo a norma referida anteriormente. As espessuras especificadas foram cumpridas, fazendo o controle das mesmas durante a pintura (medição de espessuras de película húmida - Pente) e após cura das respectivas demãos de pintura (Medição das espessuras de película - medidor elcometer digital) tomando como base a espessura nominal de película seca referida na especificação do produto.

Convés

A pintura do convés, após todas as fases atrás realizadas, consistiu no esquema de pintura abaixo.

1ª Demão - Demão de Epoxy Poliamina



Pintura da primeira demão geral de Epoxy Poliamina com uma espessura de 100 microns segundo o especificado pelo fornecedor de tintas.^[3]

Demão de Retoques a Rolo e brocha - Demão de Retoques a rolo em zonas de difícil acesso, picaduras no aço e soldaduras.

- 1ª de retoques - Epoxy Poliamina de cor cinzento, aplicada com rolo e brocha.^[3]



- 2ª de Retoques - Epoxy Poliamina de cor branca, aplicada a rolo e á brocha.^[3]



2ª Demão - Demão de primário geral de Epoxy Poliamina



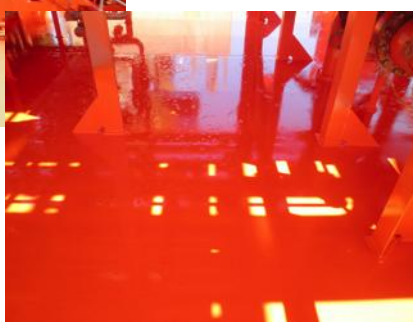
Aplicação da segunda demão geral de primário Epoxy Poliamina com uma espessura de 75 microns de espessura segundo especificado.^[3]



Demão Final - Demão de acabamento Poliuretano



Aplicação da demão geral final de poliuretano com uma espessura de 50 microns de espessura segundo especificado pelo fornecedor de tintas.^[3]



O resultado final da pintura foi satisfatório cumprindo com os requisitos da especificação de pintura e dos procedimentos de trabalhos. As condições ambientais permitiram uma pintura dentro dos parâmetros aceitáveis segundo a norma referida anteriormente. As espessuras especificadas foram cumpridas, fazendo o controle das mesmas durante a pintura (medição de espessuras de película húmida - Pente) e após cura das respectivas demãos de pintura (Medição das espessuras de película - medidor elcometer digital) tomando como base a espessura nominal de película seca referida na especificação do produto.

1.5 Outros métodos de proteção frente á corrosão

A proteção de um material metálico frente á corrosão pode ser feita sem que tenhamos que recorrer a revestimentos com tinta.

A proteção catódica é um dos métodos mais utilizados contra a corrosão em estruturas enterradas ou em água do mar. Inicialmente a sua aplicação concentrava-se em aços carbono e de baixa liga, embora também é possível a sua utilização aços inoxidáveis e alumínio. Outra opção é a sua utilização com um revestimento para que a proteção catódica atue sobre os defeitos pontuais ou zonas de desprendimentos do revestimento.

O princípio básico da proteção catódica é a aplicação de uma corrente elétrica externa para que o material a proteger tenha o seu potencial na zona de imunidade. No caso em que poderemos vir a ter corrosão localizada, a corrente externa deve ser suficiente para que o material esteja a um potencial por debaixo de um valor de proteção. Na prática, a proteção catódica consiste em converter o material a proteger em cátodo.

Para conseguir a corrente externa é possível utilizar dois métodos básicos:

- Utilizando outro material menos nobre que atua como ânodo de sacrifício mediante uma conexão elétrica ao material a proteger;
- Utilizando uma fonte de corrente externa (corrente impressa), com um retificador, que aplica a quantidade de corrente necessária em cada caso. Este método requer a presença de um electrodo de referencia para controlar o valor da corrente que se deve aplicar.



Figura 26 - Proteção Catódica através de Ânodos de sacrifício soldados aos costado de um navio.^[4]

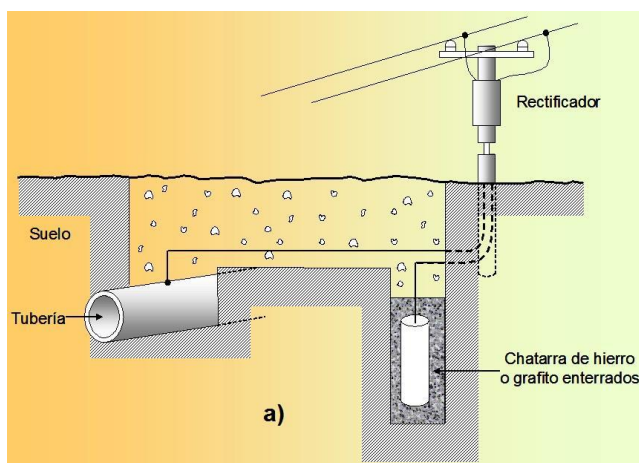


Figura 27 - Proteção catódica através de Corrente Impressa.^[4]

Um dos riscos da proteção catódica é a possibilidade de formação de hidrogénio que poderá dar lugar a imperfeições no revestimento tais como:

- Desprendimentos localizados no revestimento - Em zonas onde se origina a formação do hidrogénio. Logo as pinturas que se usam com a proteção catódica devem ser suficientemente resistentes electricamente para suportar os potenciais de proteção utilizados.
- Fragilização por hidrogénio, ao se difundir pelo material. Este risco é maior quando a estrutura está submetida a esforços e em materiais com elevada dureza e alto limite elástico.

Proteção catódica mediante ânodos de sacrifício:

Este tipo de proteção é típica de estruturas que estão no mar. Existem diferentes tipos de ânodos de sacrifício, com os seus próprios valores de corrente e que se usam em diferentes âmbitos: Em estruturas sem revestimento, os mais usados são os de alumínio (que proporcionam grandes quantidades de corrente, o que permite reduzir o tamanho e o numero de ânodos necessários); em estruturas pintadas e enterradas são mais comuns os de Zinc; em depósitos de água a elevada temperatura os mais usados são os de magnésio.

Proteção catódica por corrente impressa:

Em teoria o uso de corrente impressa é mais rentável do que os ânodos de sacrifício mas na pratica o equipamento que requer a corrente impressa poderá apresentar mais falhas e imperfeições no seu funcionamento. Em algumas aplicações é recomendado o uso de ânodos de sacrifício e corrente impressa chamado de sistema híbrido. Desta maneira os ânodos de sacrifício atuam como mecanismo de proteção antes de iniciar a aplicação da corrente impressa. Durante o uso da corrente impressa os ânodos de sacrifício contribuem para uma distribuição mais homogénea da corrente aplicada á estrutura ou neste caso navio.^{[1][2]}

O navio em estudo apresenta um sistema híbrido, este apresentava ânodos de sacrifício bastante gastos o que significa que realizaram o seu trabalho. Foram substituídos os ânodos de sacrifício antigos por uns novos mantendo a corrente impressa de origem.

Considerações Finais

Podemos considerar que a evolução dos revestimentos, no que respeita a formulações, tem sido um dos principais factores para uma melhoria continua na protecção de materiais metálicos frente á corrosão. O facto das tintas aplicadas directamente aos substratos (Primários) evoluírem no sentido de “Surface Tolerant” fez com que cada vez mais os substratos sejam descontaminados através de limpeza com água após uma limpeza por decapagem com abrasivo. Isto permite uma descontaminação total no que diz respeito a presença de sais incrustados nos perfis de decapagem com abrasivo, conseguindo uma melhor ancoragem dos revestimentos e maior durabilidade.

No que diz respeito á presença de organismos vivos os revestimentos também evoluíram favoravelmente quer a nível de protecção ambiental quer a nível de funcionalidade. No que diz respeito ao meio ambiente os anti-incrustantes deixaram de ter como biocida o TBT (Tributilestanho), sendo este um biocida com uma grande toxicidade que começou a entrar na cadeia alimentar. De forma a evitar os organismos vivos e preservar o meio ambiente foi escolhido o Oxido de cobre com menos toxicidade e que se degradava ao ser libertado pelos anti-incrustantes de auto polimento. No que respeita a funcionalidade o uso de silicones permitiu a não utilização de biocidas e a poupança de combustível dos navios com a diminuição da rugosidade nos costados.

Temos no mercado e como tecnologia de futuro o encapsulamento dos biocidas em nano partículas que se libertam consoante a necessidade de utilização. Estas nano partículas já estão presentes em alguns Anti-Incrustantes non-stick (Silicones).

Bibliografia

- 1 - ALBELA, Francisco Bouzada. “Manual del Inspector de Tratamiento de Superfícies Segun la Norma NS 476”. 2ªEdicion. Porriño: Aimen, 2016.
- 2 - HEMPEL. “Corrosion Protection Inspector’s Book of Reference”. 1St Edition, Reprinted 2009, 2011. Denmark: Bording A/S, 2011.
- 3 - Fotografias reais fotografadas no decorrer do trabalho.
- 4 - Pesquisa Google de imagens.
- 5 - ALMEIDA, M.Elisabete e FERREIRA, Mario G.S.. “Corrosão Atmosférica”. Lisboa: MAIA,1997
- 6 – GENTIL, Vicente. “Corrosão”. 2007
- 7 – UNE-EN ISO 12944-2: Pinturas e Vernizes. Proteção de aço frente á corrosão mediante sistemas de pintura protetores. Parte 2: Classificação de ambientes
- 8 – UNE-EN ISO 8501-4: Preparação de substratos de aço previa a aplicação de pinturas e produtos relacionados. Avaliação visual da limpeza das superficies. Parte 4: Estados iniciais da superficie, graus de preparação e graus de oxidação instantanea em relação com o grau de decapagem por jato de agua a alta pressão.
- 9 – UNE-EN ISO 8502-6: Preparação de substratos de aço previa a aplicação de pinturas e produtos relacionados. Ensaios para avaliação da limpeza das superficies. Parte 6: Extração de contaminantes soluveis para analise. Metodo Bresle.
UNE-EN ISO 8502-9: Preparação de substratos de aço previa a aplicação de pinturas e produtos relacionados. Ensaios para avaliação da limpeza das superficies. Parte 9: Método in situ para a determinação de sais soluveis em agua por condutimetria.

10 – UNE-EN ISO 4628-3: Preparação de substratos de aço previa a aplicação de pinturas e produtos relacionados. Designação da intensidade, quantidade e tamanho dos tipos mais comuns de defeitos. Parte 3: Avaliação do grau de oxidação.

11 – UNE-EN ISO 8501-1: Preparação de substratos de aço previa a aplicação de pinturas e produtos relacionados. Avaliação visual da limpeza das superfícies. Parte 1: Graus de oxidação e de preparação de substratos de aço não pintados depois de eliminar totalmente os recubrimentos anteriores.

UNE-EN ISO 8501-2: Preparação de substratos de aço previa a aplicação de pinturas e produtos relacionados. Avaliação visual da limpeza das superfícies. Parte 2: Graus de preparação de substratos de aço previamente pintados, depois de eliminação localizada dos recubrimentos anteriores.

12 – UNE-EN ISO 8504-2: Preparação de substratos de aço previa a aplicação de pinturas e produtos relacionados. Métodos de preparação de superfície. Parte 2: Limpeza com decapagem utilizando abrasivo.

13 – UNE-EN ISO 11127-6: Preparação de substratos de aço previa a aplicação de pinturas e produtos relacionados. Método de ensaio para materiais abrasivos não metálicos destinados a preparação de superfície com decapagem. Parte 6: Determinação de contaminantes solúveis em água por condutimetria.

14 – UNE-EN ISO 8503-2: Preparação de substratos de aço previa a aplicação de pinturas e produtos relacionados. Características da rugosidade dos substratos de aço decapados. Parte 2: Método para caracterizar um perfil de superfície de aço decapado por projeção de agentes abrasivos. Utilização de amostras ISO de comparação táctil-visual.

15 – UNE-EN ISO 2808: Pinturas e vernizes. Determinação da espessura da película.

16 – UNE-EN ISO 8502-4: Preparação de substratos de aço previa a aplicação de pinturas e produtos relacionados. Ensaio para avaliação da limpeza das superfícies. Parte 4: Guia para estimativa da probabilidade de condensação antes da aplicação da pintura.