

Copyright 2014, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2014, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2014.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## **Perfil de Rugosidade de Superfícies de Aço-carbono x Espessura de Tintas e de Esquemas de Pintura - Um Tema Importante para Ser Debatido**

Celso Gnecco<sup>(1)</sup> e Fernando Fragata<sup>(2)</sup>

### **Abstract**

It is widely known that the surface roughness profile of metal substrates, especially carbon steel, is an important factor to provide good adhesion to paints and paint systems. A typical criterion used to establish the roughness profile is that it is comprised 1/4 to 1/3 of the thickness of the coating. However, with the development of new paint technologies, there has been a substantial change in their physico chemical properties such as higher solids content and high coat thicknesses. Thus, the thickness of organic coatings increased dramatically, while the roughness of the substrate changed little. Due to these factors, a survey was done to investigate the thickness of certain paints and paint systems and the surface roughness profile required for the application. The results showed the necessity of conducting a debate on the subject in question, with the participation of professionals and companies involved in the application of paints and paint systems. The aim of this debate is to establish technical criteria for specification roughness profile, depending on the thickness and the technical characteristics of anticorrosive coatings.

**Keywords: surface roughness profile, metal substrate, paint system .**

### **Resumo**

É amplamente conhecido que o perfil de rugosidade dos substratos metálicos, em especial os de aço-carbono, é um fator importante para proporcionar boas condições de aderência às tintas e aos esquemas de pintura. Um critério utilizado, ainda que antigo, para se estabelecer o perfil de rugosidade, é que este esteja compreendido entre 1/4 a 1/3 da espessura do revestimento. Com o desenvolvimento de novas tecnologias de tintas, houve uma mudança substancial nas propriedades físico-químicas das mesmas como, por exemplo, maior teor de sólidos e altas espessuras por demão. Com isso, a espessura dos revestimentos por pintura aumentou de forma expressiva, enquanto a rugosidade do substrato alterou pouco. Diante destes fatos, foi feito um levantamento para se conhecer a espessura de certas tintas e esquemas de pintura e o perfil de rugosidade exigido para a aplicação dos mesmos. Os resultados obtidos mostraram a necessidade da realização de um amplo debate sobre o tema em questão, com a participação de profissionais e empresas envolvidas com a aplicação de tintas e esquemas de pintura, com o objetivo de se estabelecer critérios técnicos bem fundamentados para a especificação do perfil de rugosidade, em função da espessura e das características técnicas dos revestimentos anticorrosivos.

<sup>1</sup> Engenheiro Químico, Gerente de Treinamento da Sherwin-William

<sup>2</sup> Engenheiro Químico, Consultor em Pintura Anticorrosiva

**Palavras-chave:** perfil de rugosidade, substrato metálico, esquema de pintura.

## 1. Introdução

É amplamente conhecido que a aderência é uma propriedade essencial à durabilidade dos revestimentos por pintura, especialmente aqueles utilizados na proteção anticorrosiva de substratos metálicos, embora se reconheça que ela por si só não é responsável pelo desempenho dos mesmos. Logo, o fato de um revestimento possuir uma excelente aderência inicial não significa que o mesmo irá apresentar um bom desempenho, haja vista que este pode ser afetado, de forma negativa, por outros fatores como, por exemplo, pela presença de contaminantes salinos e de óleos e gorduras na superfície [1,2]. Porém, um revestimento com fraca aderência inicial pode vir a apresentar falhas prematuras em curto espaço de tempo, principalmente quando exposto sob condições de imersão ou em meios com alta umidade relativa. Nestes casos, um dos primeiros “sintomas” é o aparecimento de bolhas (empolamento) no revestimento e, posteriormente, descascamento e/ou corrosão, dependendo da agressividade do meio. Mesmo quando a superfície pintada não estiver em condições de imersão, mas exposta ao tempo com variação de temperatura entre dias e noites que podem ser significativas, a conseqüente alteração dimensional do substrato nestas condições pode levar a tinta ou o esquema de pintura a apresentar falhas se destacando, se o mesmo não estiver bem ancorado (com perfil de rugosidade adequado).

Um dos fatores mais importantes para se obter uma boa aderência dos revestimentos por pintura aos substratos, sem dúvida alguma, é a preparação da superfície. No caso de chapas e perfis de aço carbono novos, temos que considerar também a presença de carepa de laminação que deve ser removida por jateamento abrasivo com pressão ou com turbinas centrífugas para criar o perfil de rugosidade adequado.

A limpeza de superfície é uma etapa da preparação do substrato para a pintura que visa remover os contaminantes da superfície como, por exemplo, óleos, graxas, sais, produtos de corrosão e pintura envelhecida não aderente e/ou com fissuras, que são extremamente prejudiciais ao desempenho dos revestimentos, principalmente em relação à proteção anticorrosiva, e criar condições adequadas para a aderência dos mesmos aos substratos, independentemente do mecanismo de aderência envolvido. Existem, basicamente, três mecanismos pelos quais os revestimentos por pintura podem aderir aos substratos metálicos, a saber:

- **Aderência química:** ocorre quando a tinta reage quimicamente com o substrato metálico. Um exemplo típico é a aderência que ocorre quando se aplica um *wash-primer* (tinta condicionadora de aderência que contém em sua composição, dentre outros constituintes, ácido fosfórico, tetroxicromato de zinco e resina de polivinilbutiral - ver nota) sobre superfícies de aço galvanizado. A reação química do

---

ácido fosfórico com o revestimento de zinco, de forma conjunta com o tetroxicromato de zinco e com a resina de polivinilbutiral, conduz à conversão superficial do metal fazendo com que uma fina camada de tinta fique aderida quimicamente ao substrato.

*Nota: por causa do cromo – metal pesado, esta tinta não está mais sendo utilizada.*

- **Aderência polar:** neste caso, a aderência ocorre devido à atração entre grupos polares das moléculas da resina com grupos polares, de carga oposta, do substrato. Por isso, a tendência é que quanto maior for o número de grupos polares na resina melhor será a aderência dos revestimentos aos substratos metálicos. Por exemplo, as resinas epóxis possuem excelente aderência aos substratos de aço carbono. Um dos fatores que contribui para isso é a presença de grupos hidroxila (-OH) na estrutura da resina epóxi. É importante destacar que somente a aderência polar pode não ser suficiente, em muitos casos, para garantir uma longa durabilidade aos revestimentos por pintura, pois as forças de Van der Waals e London envolvidas são fracas e com isso as ligações podem ser destruídas com maior ou menor grau de dificuldade, em função das condições de agressividade do meio no qual os revestimentos ficarão expostos [3,4].
- **Aderência mecânica:** este tipo de aderência, motivo da realização do presente trabalho, está baseado na rugosidade superficial do substrato (Figura 1). Neste sentido, a limpeza das superfícies metálicas por meio de jateamento abrasivo é uma das formas mais eficientes para se obter boa aderência mecânica e química dos revestimentos aos substratos, principalmente metálicos. Pode-se dizer que a aderência mecânica se associa aos outros dois mecanismos de aderência. Além de propiciar excelentes condições para a aderência mecânica, a limpeza por meio de jateamento abrasivo contribui para aumentar a área superficial do substrato, o que aumenta o número de locais para o estabelecimento de ligações polares [3,4]. Logo, a associação destes dois tipos de aderência é extremamente benéfica para a durabilidade dos revestimentos por pintura. Uma superfície de aço polida (ver ilustração B da Figura 2), ainda que totalmente limpa, pode não propiciar boas condições de aderência para determinados esquemas de pintura. A condição ideal é aquela em que a superfície encontra-se isenta de contaminantes e com rugosidade adequada, conforme ilustração C da Figura 2.

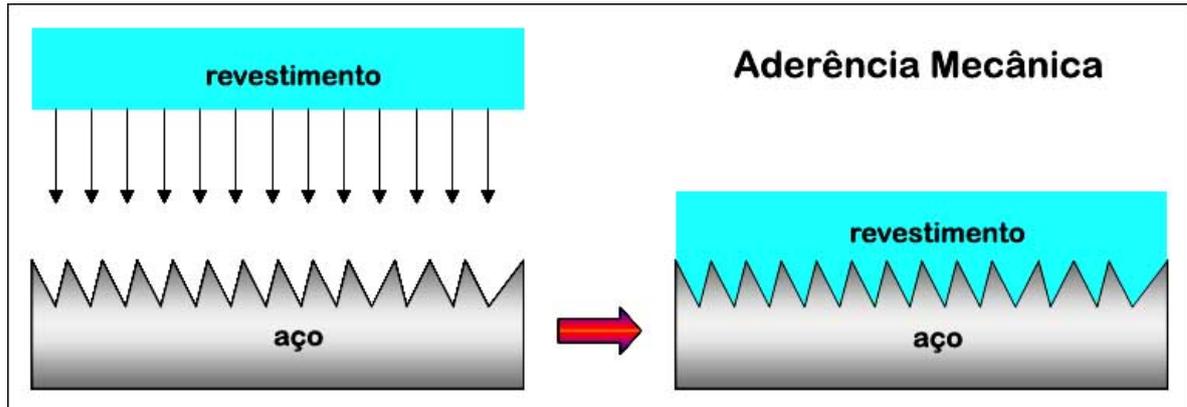


Figura 1 – Representação esquemática da aderência mecânica de um revestimento ao substrato de aço.

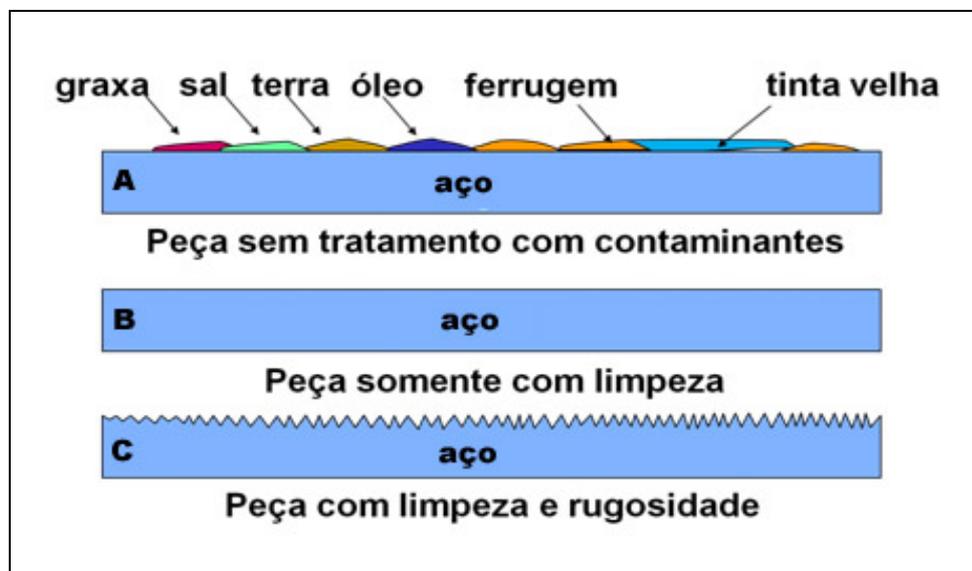


Figura 2 - Ilustração de aspectos superficiais de substratos de aço.

Vale ainda ressaltar que, além da preparação da superfície, as propriedades físico-químicas das tintas, especialmente com relação às resinas e aditivos utilizados em sua fabricação, podem melhorar, de forma significativa, a aderência das mesmas aos substratos. Neste sentido, sabe-se que as resinas com maior número de grupamentos polares tendem a melhorar a aderência das tintas, assim como o uso de aditivos denominados promotores de aderência como, por exemplo, os silanos [3,4]. Portanto, os químicos das empresas ao desenvolverem novas fórmulas de tintas estão sempre atentos a estes detalhes importantes para que os produtos propiciem a aderência desejada aos diferentes tipos de substrato.

Com base no que foi apresentado, é possível observar que o perfil de rugosidade é um fator importante para a aderência mecânica dos revestimentos. Ocorre que não existe uma regra básica para estabelecer a altura ideal do perfil em função da espessura dos revestimentos. O

que existe são informações técnicas, muitas delas antigas, que preconizam determinados valores, independentemente do tipo e natureza química dos revestimentos. Como descrito anteriormente, a tecnologia de tintas evoluiu muito nos últimos anos, especialmente no que diz respeito ao teor de sólidos e à espessura por demão. Entretanto, os requisitos com relação ao perfil de rugosidade mudou pouco e, mesmo assim sem um critério bem estabelecido. No presente trabalho, apresenta-se um levantamento sobre as exigências atuais no Brasil com relação ao binômio espessura do revestimento x perfil de rugosidade. Os resultados deste levantamento mostram a necessidade de uma ampla discussão, com a participação de especialistas do setor, sobre este tema tão importante na durabilidade dos revestimentos anticorrosivos.

## 2. Considerações Gerais Sobre a Rugosidade do Substrato na Aderência Mecânica dos Revestimentos por Pintura

A altura do perfil de rugosidade tem uma influência substancial na aderência dos revestimentos aos diferentes tipos de substrato metálico, especialmente os de aço-carbono. Neste sentido, um conceito ainda muito utilizado é de que quando se aumenta a espessura do revestimento há que se aumentar o perfil de rugosidade, tal como ilustrado na Figura 3.

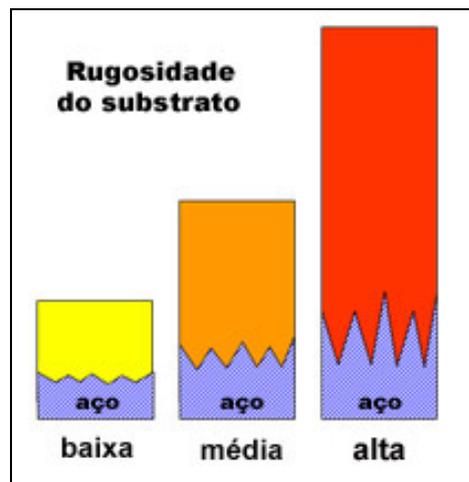
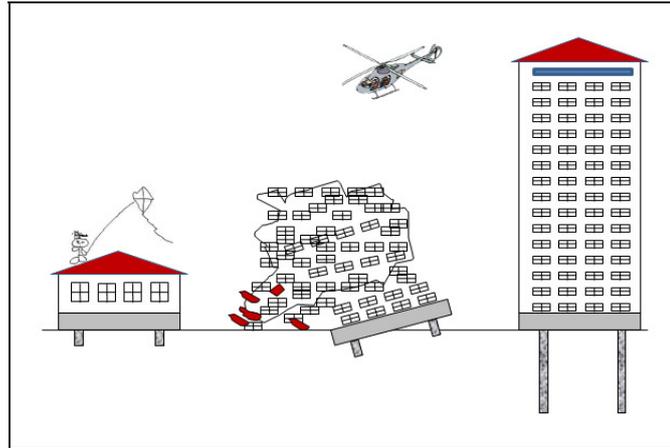


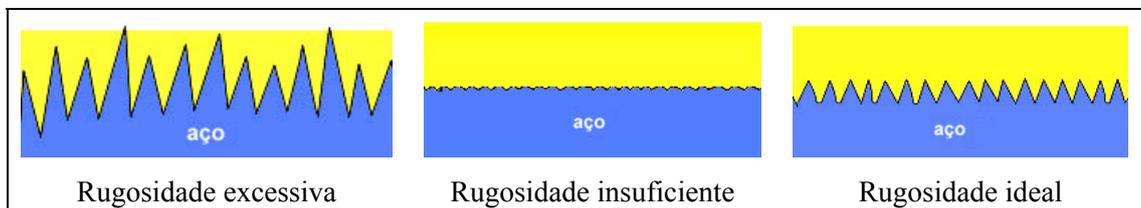
Figura 3 - Ilustração de um conceito utilizado com relação à espessura do revestimento x altura do perfil de rugosidade.

De certa forma, há quem associe o perfil de rugosidade ao alicerce de uma construção e, neste aspecto, a pergunta que se faz é a seguinte: você construiria um edifício de 15 andares sobre o alicerce de um sobrado? Observando a ilustração da Figura 4, a resposta é não, pois para um edifício alto o alicerce tem que ser mais profundo e melhor calculado para resistir ao peso maior e à carga de ventos, principalmente laterais.



**Figura 4 - Ilustração comparativa de um alicerce de sobrado para um edifício de 15 andares.**

Os fatos apresentados mostram como é importante o controle do perfil de rugosidade das superfícies metálicas. Conforme ilustrações da Figura 5, a rugosidade muito elevada pode resultar na presença de picos com espessura de tinta muito baixa, ou até mesmo descobertos, o que se constitui num ponto vulnerável para o aparecimento prematuro de pontos de corrosão. Já uma rugosidade muito baixa pode prejudicar a aderência dos revestimentos aos substratos. Logo, a rugosidade ideal é aquela que propicia boas condições de aderência e boa cobertura aos picos do perfil de rugosidade.



**Figura 5 - Comparação entre perfis de rugosidade**

Na norma ABNT NBR 7348:07 [5], versão corrigida em 2010, no item 6.2.2.1, há uma informação de que o valor médio do perfil de rugosidade deve estar compreendido entre 1/4 e 1/3 da espessura total do esquema de pintura. Assim, se um esquema de pintura possuir espessura total de 120  $\mu\text{m}$  (2 demãos com 60  $\mu\text{m}$  por demão), o perfil de rugosidade deverá estar compreendido entre 30  $\mu\text{m}$  e 40  $\mu\text{m}$ , conforme ilustrado na Figura 6.

Na referida norma há também duas notas que dizem: a) em caso de longo intervalo de tempo entre a 1ª e a 2ª demãos, em ambiente corrosivo, pode-se adotar um perfil de rugosidade de aproximadamente 2/3 da espessura da 1ª demão; b) para esquemas de pintura de alta espessura (> 300  $\mu\text{m}$ ), o perfil de rugosidade deve ser estabelecido através de acordo entre as partes envolvidas no processo de pintura. No item a seguir, serão mostrados os resultados de um levantamento feito a respeito do tema em questão, utilizando-se como base as informações

contidas nos boletins técnicos de alguns produtos comerciais e em esquemas de pintura normalizados pela PETROBRAS.

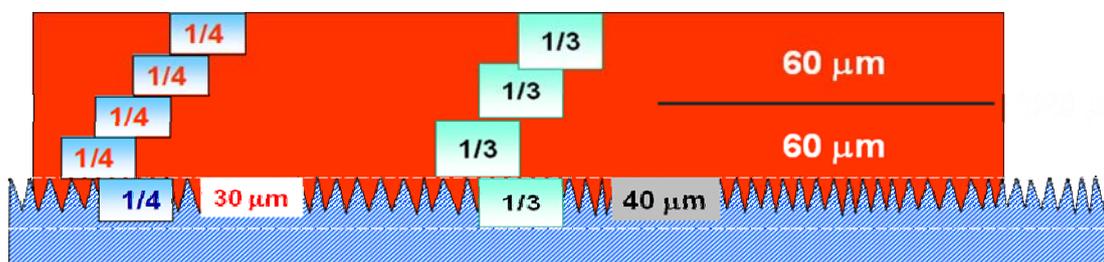


Figura 6 - Perfis de rugosidade para atender ao requisito de 1/4 a 1/3 da espessura total do esquema de pintura (120 µm), previsto na ABNT NBR 7348 [5].

### 3. Levantamento de Dados a Respeito do Tema: Espessura do Revestimento VERSUS Perfil de Rugosidade

Observando-se as informações de fichas técnicas de produtos e itens de normas, constatou-se que a espessura das tintas e dos esquemas de pintura tem aumentado sistematicamente. Há cerca de 50 anos atrás a espessura máxima das tintas eram da ordem de 50 micrometros, depois vieram as tintas HB – High Build, cujas espessuras eram de 75 µm a 120 µm por demão. Em seguida, surgiram as tintas com, aproximadamente, 400 µm por demão e atualmente tem-se as tintas com 800 µm até 1250 µm por demão. No que diz respeito ao perfil de rugosidade, o aumento foi feito mais na base do "sentimento" do que com base em algum critério técnico bem estabelecido, conforme poderá ser constatado nos exemplos a seguir.

#### 3.1 Tintas comerciais e perfis de rugosidade exigidos

Na Tabela I, mostram-se os perfis de rugosidade exigidos por alguns fabricantes e/ou normas técnicas para a aplicação de diversos tipos de tinta epóxi.

Tabela I - Rugosidade e espessura informadas nas fichas técnicas de diversos tipos de tinta epóxi.

| Tinta                                     | Função | Espessura média da película (µm) | Faixa de rugosidade (µm) | Proporção aproximada(**) |
|---|--------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1- Epóxi 100% sólidos                     | DF*    | 175                              | 25 a 50                  | 1/7 a 1/3,5              |
| 2- Epóxi <i>surface tolerant</i>          | DF*    | 185                              | 25 a 50                  | 1/7,4 a 1/3,7            |
| 3- Epóxi <i>novolac</i>                   | DF*    | 325                              | 50 a 100                 | 1/6,5 a 1/3,3            |
| 4- Epóxi secagem rápida                   | DF*    | 500                              | 50 a 75                  | 1/10 a 1/6,7             |
| 5- Epóxi <i>novolac</i> + flocos de vidro | DF*    | 875                              | 75 a 125                 | 1/11,7 a 1/7             |
| 6- IMO PSPC MSC.215 (epóxi)               | DF*    | 300                              | 30 a 75                  | 1/10 a 1/4               |

DF\*(dupla função): pode ser aplicada diretamente sobre o substrato e atuar como tinta de fundo e acabamento.

(\*\*) a proporção foi obtida dividindo-se a espessura média pelos dois valores da faixa de rugosidade.

Pelos resultados apresentados na Tabela I, observa-se que o critério de 1/4 a 1/3 da espessura do revestimento para se estabelecer a rugosidade do substrato não se enquadrou nos casos das tintas epóxis mencionadas. Além disso, a diferença entre este critério e os valores de rugosidade indicados nas fichas técnicas dos produtos tende a ser maior com o aumento da espessura. Logo, é um ponto importante para ser discutido entre os profissionais da área de pintura anticorrosiva. Isto fica bem evidenciado no caso da tinta 5 (epóxi *novolac* com flocos de vidro). Se o critério de 1/4 a 1/3 fosse utilizado, para a espessura de 875  $\mu\text{m}$ , a rugosidade teria que estar compreendida entre 219  $\mu\text{m}$  e 292  $\mu\text{m}$ , que é totalmente diferente do valor especificado, 75  $\mu\text{m}$  a 125  $\mu\text{m}$ . Logo, isto reforça a necessidade de se debater o tema em questão.

Outro fato que chama a atenção diz respeito às faixas de rugosidade das tintas 3 (epóxi *novolac*) e 4 (epóxi de secagem rápida). No primeiro caso, para a espessura de 325  $\mu\text{m}$ , é exigida uma faixa de rugosidade de 50  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ . No segundo, para uma espessura de 500  $\mu\text{m}$ , a rugosidade exigida é de 50  $\mu\text{m}$  a 75  $\mu\text{m}$ . De imediato, observa-se que há uma inversão nos valores de rugosidade em relação à espessura. Embora sejam tintas com características diferentes, as mesmas são de mesma natureza química. Logo, verifica-se que não há um critério bem estabelecido para definir a rugosidade da superfície em função da espessura do revestimento. Isto fica bem evidenciado pelas próprias faixas de rugosidade. No caso da tinta 3, a faixa é de 50  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$  e no da tinta 4, de 50  $\mu\text{m}$  a 75  $\mu\text{m}$ . Em termos técnicos, pode-se dizer que a diferença entre as duas faixas de rugosidade é quase nenhuma, uma vez que o perfil de rugosidade exigido para a tinta 3 atende ao da tinta 4. Portanto, é outro ponto que merece ser debatido, ou seja, estabelecer de forma fundamentada os limites de rugosidade.

### 3.2 Tintas normalizadas pela PETROBRAS (N 2680 e N 2912 III)

A norma N 2680 [6] corresponde à tinta epóxi sem solventes tolerante a superfícies úmidas e a N 2912 III [7] à tinta epóxi *novolac* com flocos de vidro. Para a realização dos ensaios de desempenho das tintas em laboratório, as chapas de aço-carbono, para confecção dos corpos-de-prova, têm que ser submetidas ao jateamento abrasivo. A faixa de rugosidade exigida e a espessura das tintas estão mostradas na Tabela II.

**Tabela II - Rugosidade e espessura informadas nas normas N 2680 [6] e N 2912 III [7], para a realização dos ensaios de desempenho das respectivas tintas em laboratório.**

| Tinta      | Função | Espessura média da película ( $\mu\text{m}$ ) | Faixa de rugosidade ( $\mu\text{m}$ ) | Proporção aproximada(**) |
|------------|--------|---|---------------------------------------|--------------------------|
| N 2680     | DF*    | 450   | 50 a 70                               | 1/9 a 1/6,4              |
| N 2912 III | DF*    | 800   | 50 a 100                              | 1/16 a 1/8               |

DF\*(dupla função): pode ser aplicada diretamente sobre o substrato e atuar como tinta de fundo e acabamento.

(\*\*) a proporção foi obtida dividindo-se a espessura média pelos dois valores da faixa de rugosidade.

Tal como no caso anterior, observa-se que, o critério de se utilizar 1/4 a 1/3 da espessura do revestimento para definir a faixa ou perfil de rugosidade do substrato necessita ser discutido, principalmente para revestimentos de alta espessura. Na realidade, observa-se que as tintas, em função do avanço tecnológico, permitem a obtenção de altas espessuras por demão e, como consequência, os esquemas de pintura também se tornaram mais espessos e eficientes no combate à corrosão. Ocorre que o aumento de rugosidade foi pequeno em relação ao aumento de espessura dos revestimentos. Então, é preciso discutir este tema de forma profunda para que se possa elaborar as especificações de tintas e de esquemas de pintura com respaldo técnico bem fundamentado, mesmo que se chegue a conclusão de que os valores atuais são os mais corretos.

Tal como mencionado no item 3.1, a faixa de rugosidade é um tema que também precisa ser discutido. A norma N 2680 [6], para uma espessura média de 450  $\mu\text{m}$ , exige uma faixa de rugosidade entre 50  $\mu\text{m}$  e 70  $\mu\text{m}$ , enquanto que a N 2912 III [7], para uma espessura média de 800  $\mu\text{m}$ , uma faixa de rugosidade entre 50  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ . Numa análise bem simples dos valores mencionados, observa-se que a faixa mais ampla de rugosidade é da tinta de maior espessura, o que não está errado. Ocorre que, do ponto de vista técnico, a diferença entre as duas faixas é quase nenhuma. Tal como no caso anterior, todos os valores da faixa de rugosidade da tinta N 2680 atendem aos da norma N 2912 III [7]. A única diferença é que a N 2912 III [7] possui o limite máximo de rugosidade ligeiramente maior que o da N 2680. Como se pode constatar, o perfil de rugosidade de um revestimento com 450  $\mu\text{m}$  atende ao de um revestimento com 800  $\mu\text{m}$ . Isto é um ponto importante para ser debatido no sentido de se estabelecer as faixas de rugosidade ideais em função da espessura e das características físico-químicas dos revestimentos.

### **3.3 Espessura de esquemas de pintura e rugosidade do substrato previstas na norma PETROBRAS N 2913 [8].**

Na Tabela III, mostram-se diversas condições de esquemas de pintura especificados na norma PETROBRAS N 2913, que diz respeito a revestimentos anticorrosivos para tanque, esfera e cilindro de armazenamento, bem como os perfis de rugosidade exigidos.

Como pode ser observado, também aqui o conceito de 1/4 a 1/3 da espessura do esquema de pintura, para se estabelecer o perfil de rugosidade, não se enquadrou, especialmente no caso dos esquemas de alta espessura como, por exemplo, os das condições 1 a 6. Portanto, isto reforça a necessidade de um amplo debate sobre o assunto, apesar da norma ABNT NBR 7348 [5] recomendar que, acima de 300  $\mu\text{m}$  de espessura, o perfil de rugosidade seja acordado previamente entre as partes envolvidas na aplicação dos esquemas de pintura.

Outro aspecto que chama a atenção para um debate, tal como mencionado em itens anteriores, é a utilização da mesma faixa de rugosidade para esquemas de pintura com espessuras muito diferentes como, por exemplo, no caso das condições 6 (espessura de 800  $\mu\text{m}$ ), 7 (espessura

de 190  $\mu\text{m}$ ) e 13 (espessura de 170  $\mu\text{m}$ ). Do ponto de vista técnico, os esquemas das duas últimas condições não são afetados em termos de proteção anticorrosiva, uma vez que os medidores de espessura que atuam pelo princípio de indução magnética, medem a espessura do revestimento acima dos picos. Com isso, teoricamente, não há risco dos picos mais altos ficarem com menor espessura de revestimento.

Porém, há que se ter em mente que um perfil muito elevado pode ocasionar um consumo adicional de tinta de fundo e com isso aumentar o custo da pintura. Utilizando-se metodologia de cálculo de rendimento prático de tintas publicado pelo GCOI (Eletrobras) [9], um perfil de rugosidade médio de 85  $\mu\text{m}$  pode ocasionar um consumo adicional de tinta de fundo da ordem de 12 %, em relação a um perfil médio de 45  $\mu\text{m}$ . Portanto, é uma diferença que não pode ser desprezada.

**Tabela III - Espessura de esquemas de pintura e rugosidade do substrato previstas na norma PETROBRAS N 2913 [8]**

| Finalidade   | Condição | Espessura total do esquema ( $\mu\text{m}$ )    | Perfil de rugosidade ( $\mu\text{m}$ ) | Proporção aproximada                        | Proporção 1/4 a 1/3 ( $\mu\text{m}$ ) |
|--|----------|---|--|---|---------------------------------------|
| Revestimento interno de tanques                      | 1        | 450   | 70 a 100                               | 1/6 a 1/4                                   | 112 a 150                             |
|  | 2        | 450   | 70 a 100                               | 1/6 a 1/4                                   | 112 a 150                             |
|  | 3        | 500   | 70 a 100                               | 1/7 a 1/5                                   | 125 a 166                             |
|  | 4        | 450   | 70 a 100                               | 1/6 a 1/4                                   | 112 a 150                             |
|  | 5        | 500   | 70 a 100                               | 1/7 a 1/5                                   | 125 a 166                             |
|  | 6        | 800   | 70 a 100                               | 1/11 a 1/8                                  | 200 a 266                             |
| Revestimento externo de tanques                      | 7        | 190   | 70 a 100                               | 1/3 a 1/2                                   | 47 a 63                               |
|  | 8        | 120   | 70 a 100                               | 1/2 a 1/1,2                                 | 30 a 40                               |
|  | 9        | 150   | 70 a 100                               | 1/2 a 1/1,5                                 | 37 a 50                               |
|  | 10       | Costado: 175<br>Teto: 350<br>Teto c/ isol.: 300 | 70 a 100                               | 1/2,5 a 1/1,7<br>1/5 a 1/3,5<br>1/4,3 a 1/3 | 44 a 58<br>88 a 117<br>75 a 100       |
| Revestimento interno de esferas e cilindros          | 11       | 400   | 70 a 100                               | 1/6 a 1/4                                   | 100 a 133                             |
|  | 12       | 400   | 70 a 100                               | 1/6 a 1/4                                   | 100 a 133                             |
| Revestimento externo (equip. sem isolamento térmico) | 13       | 170   | 70 a 100                               | 1/2 a 1/1,7                                 | 42 a 57                               |
|  | 14       | 155   | 70 a 100                               | 1/2,2 a 1/1,5                               | 39 a 52                               |

Tabela III (continuação)

| Finalidade   | Condição | Espessura total do esquema ( $\mu\text{m}$ ) | Perfil de rugosidade ( $\mu\text{m}$ ) | Proporção aproximada | Proporção 1/4 a 1/3 ( $\mu\text{m}$ ) |
|--|----------|--|--|----------------------|---------------------------------------|
| Revestimento externo (equip. com isolamento térmico) | 15       | 200  | 70 a 100                               | 1/3 a 1/2            | 50 a 67                               |
|  | 16       | 150  | 70 a 100                               | 1/2 a 1/1,5          | 37 a 50                               |
|  | 17       | 200  | 70 a 100                               | 1/3 a 1/2            | 50 a 67                               |
|  | 18       | 30   | 70 a 100                               | (*)                  | (*)                                   |
|  | 19       | 200  | 70 a 100                               | 1/3 a 1/2            | 50 a 67                               |

(\*) por se tratar de uma condição que difere totalmente das demais, pois o revestimento é decorrente da aplicação de duas demãos de tinta indicadora de temperatura, que possui características muito específicas, as informações não serão analisadas.

#### 4. Considerações Finais

Com a apresentação deste trabalho não se pretende de forma alguma fazer quaisquer críticas às recomendações dos fabricantes de revestimentos e nem às especificações das empresas. O objetivo é mostrar a necessidade de se debater um tema importante que é o binômio espessura do revestimento  $\times$  perfil de rugosidade do substrato. Nos últimos anos, como comentado ao longo deste trabalho, os avanços tecnológicos no setor de tintas anticorrosivas no Brasil foram marcantes, especialmente impulsionados pela PETROBRAS, através de seu Centro de Pesquisas (CENPES). Neste aspecto, as tintas modernas são mais aderentes, mais coesas, mais impermeáveis, de menor impacto ambiental e permitem a obtenção de altas espessuras por demão. Como consequência, pode-se especificar e aplicar esquemas de pintura com altas espessuras (até 1250  $\mu\text{m}$ ) e com menor número de demãos.

Diante do que foi apresentado, observa-se que as espessuras dos revestimentos aumentaram enquanto a rugosidade, praticamente, se manteve em valores próximos dos convencionais de alguns anos atrás. As faixas de rugosidade sofreram poucas alterações. Na época em que a areia podia ser utilizada como abrasivo, o perfil de rugosidade exigido por algumas empresas era de 30  $\mu\text{m}$  a 70  $\mu\text{m}$  e, no caso da granalha de aço, 30  $\mu\text{m}$  a 85  $\mu\text{m}$ . Posteriormente, em função do surgimento de novas tecnologias de tintas, o perfil passou a ser de 40  $\mu\text{m}$  a 85  $\mu\text{m}$ , depois de 50  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$  e atualmente, em certos esquemas de pintura, de 70  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ . É importante destacar que estes dados são específicos da PETROBRAS em função dos esquemas utilizados pela empresa e, portanto, não podem ser utilizados de forma indiscriminada.

Além dos fatos mencionados, há certos valores de rugosidade que geram algumas dúvidas, como, por exemplo, o esquema de pintura da condição 6 da Tabela 3, cuja espessura do revestimento é de 800  $\mu\text{m}$  e o perfil de rugosidade exigido é de 50  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ . O esquema de pintura 7, cuja espessura é de 190  $\mu\text{m}$ , o perfil exigido é o mesmo, ou seja, 50  $\mu\text{m}$  a

100  $\mu\text{m}$ . Será que para 190  $\mu\text{m}$  de espessura necessita-se de um perfil alto, igual ao do revestimento com 800  $\mu\text{m}$  ?. Como se sabe, o perfil alto gera um maior consumo de tinta e isto significa gasto de dinheiro. Ou então, será que o perfil estabelecido é suficiente para um revestimento de 800  $\mu\text{m}$ ? Estas e outras questões necessitam ser debatidas, como, por exemplo:

- Quais são os fatores que devem nortear a seleção do perfil de rugosidade?
- Qual a influência das propriedades físico-químicas da tinta de fundo na seleção do perfil de rugosidade?
- Como estabelecer o perfil de rugosidade? baseado numa faixa de valores mínimo e máximo? ou fixando apenas o valor mínimo?

Portanto, um debate neste sentido certamente traria uma contribuição muito importante para todos os órgãos e profissionais envolvidos com a proteção anticorrosiva, por meio de revestimentos orgânicos, no Brasil. Além de gerar critérios técnicos para se estabelecer o perfil de rugosidade, permitiria obter dados para a seleção de abrasivos e da granulometria mais adequada para se atingir os valores desejados de rugosidade.

## **5. Conclusões**

Com base nos resultados apresentados, na discussão dos mesmos e considerando a importância da rugosidade do substrato na aderência dos revestimentos anticorrosivos, pode-se concluir que:

- a) Em função das novas tecnologias de tintas que surgiram nos últimos anos, é importante a realização de debates, com a participação de empresas e profissionais envolvidos com a pintura anticorrosiva, no sentido de se estabelecer os parâmetros ou critérios que devem nortear a seleção do perfil de rugosidade do substrato em relação à espessura dos revestimentos.
- b) A realização de debates sobre o tema em questão pode trazer uma série de benefícios técnicos e econômicos para as empresas, bem como melhorar a capacitação técnica dos profissionais, pois o assunto faz parte do programa dos cursos de Formação de Inspectores de Pintura da ABRACO.
- c) O critério de se utilizar 1/4 a 1/3 da espessura da espessura do revestimento para se estabelecer o perfil de rugosidade, em função do que foi mostrado neste trabalho, precisa ser amplamente discutido, principalmente para revestimentos com espessuras elevadas.

## 6. Referências Bibliográficas

- [1] SSPC 91-07, Effect of surface contaminants on coatings life, SSPC, 134 p. (1991).
- [2] F. L. Fragata, M. J. Saad, C. C. Amorim, Desempenho de esquemas de pintura aplicados em superfícies ferrosas com mesmo grau de limpeza visual, porém com diferentes concentrações de contaminantes salinos, LATINCORR2006, ABRACO/AICOP/NACE, Fortaleza (2006).
- [3] V. Gentil, Corrosão, LTC editora, 5ª edição, Rio de Janeiro (2007).
- [4] C. Munger, Corrosion prevention by protective coatings, NACE, Houston (1984).
- [5] ABNT NBR 7348:2007, versão corrigida em 2010, Pintura Industrial - Preparação de superfície com jato abrasivo e hidrojateamento.
- [6] PETROBRAS N 2680, Tinta epóxi sem solvente, tolerante a superfícies molhadas, Rio de Janeiro, Abril (2011).
- [7] PETROBRAS N 2912, Tinta epóxi "novolac", Rio de Janeiro, Agosto (2010).
- [8] PETROBRAS N 2913 Rev.A, Revestimentos anticorrosivos para tanque, esfera e cilindro de armazenamento, Rio de Janeiro, Agosto (2011).
- [9] SCM-053, Critérios para a determinação do rendimento de tintas, Eletrobras-GCOI, Subcomitê de Manutenção, Rio de Janeiro, maio (1987).