CÁLCULOS E FÓRMULAS MATEMÁTICAS UTILIZADAS EM PINTURA ANTICORROSIVA

Fernando de L. Fragata[(1)] e Celso Gnecco[(2)]

1 INTRODUÇÃO

No campo da pintura anticorrosiva, existem cálculos matemáticos importantes envolvidos tanto na fase de especificação dos esquemas de pintura quanto na fase de aplicação das tintas. Em certos casos, o erro num destes cálculos pode ser fatal e conduzir a prejuízos técnicos e econômicos substanciais. Um exemplo típico é quando a mistura dos componentes de uma tinta é feita de forma errada, ou seja, em desacordo com as orientações técnicas do fabricante. Este erro afetará significativamente as propriedades de secagem e cura da película e o desempenho do revestimento. Logo, a sua remoção será inevitável e, com isso, os prejuízos serão grandes.

Ao longo dos anos tem-se observado que , na fase de aplicação das tintas, grande parte dos erros são cometidos por desconhecimento técnico, pois muitos profissionais não sabem da importância de determinados fatores no desempenho das tintas, e/ou por deficiência escolar. Assim sendo, para ajudar a reduzir a possibilidade de erros nos cálculos envolvidos, serão descritos neste trabalho alguns parâmetros técnicos das tintas e as fórmulas matemáticas para o cálculo dos mesmos.

2. PARÂMETROS TÉCNICOS IMPORTANTES, FÓRMULAS MATEMÁTICAS E EXEMPLOS

2.1 Teor de Sólidos em Massa (S_M)

Corresponde a fração de tinta que fica na película após a evaporação das substâncias voláteis, que na maioria dos casos são os solventes, e é expresso em porcentagem (%). É importante frisar que, no ramo de tintas, a palavra "sólidos" refere-se ao total de substâncias não voláteis como, resina(s), pigmento(s) e aditivo(s). Assim, pode-se expressar o teor de sólidos em massa (S_M) pela seguinte fórmula:

$$S_M = \frac{M_{TS}}{M_T} \times 100 \qquad \text{(Eq.1)}$$ onde,

S_M : teor de sólidos em massa (%)

M_{TS} : massa de tinta seca, após a evaporação dos solventes

M_T : massa inicial de tinta

---

(1) Eng. químico, consultor em pintura anticorrosiva, fragata200@gmail.com
(2) Eng. químico, gerente de treinamento da Sherwin-Williams, celso@sherwin.com.br

A partir do cálculo anterior, pode-se obter também o teor de solventes (S_{OLV}) ou substâncias voláteis de uma tinta através da seguinte fórmula:

$$S_{OLV} = 100 - S_M \qquad \text{(Eq.2)} \qquad \text{onde,}$$

S_{OLV} : teor de solventes ou substâncias voláteis (%)
S_M : teor de sólidos em massa (%)

Face ao exposto, observa-se que as tinta ditas de alto teor de sólidos são aquelas que contém baixo teor de solventes (compostos orgânicos voláteis) e são conhecidas popularmente como tintas *Low VOC*. Quando as tintas possuem teor de sólidos igual a 100 %, as mesmas são chamadas isentas de solventes (*solvent free*).

Exemplo 1: A massa de uma tinta após a evaporação dos solventes foi de 1,56 g. Sabendo-se que a massa inicial de tinta foi de 2,45 g, calcular o teor de sólidos em massa da referida tinta. Aplicando-se a Eq.1, tem-se:

$$S_M = \frac{M_{TS}}{M_T} \times 100 \quad \Rightarrow \quad S_M = \frac{1{,}56}{2{,}45} \times 100 \quad \Rightarrow \quad \mathbf{S_M = 65{,}0\ \%}$$

Exemplo 2: Com base nos dados do exemplo anterior, calcular o teor de solventes ou substâncias voláteis da tinta. Aplicando-se a Eq.2, tem-se:

$$S_{OLV} = 100 - 65{,}0 \quad \Rightarrow \quad \mathbf{S_{OLV} = 35{,}0\ \%}$$

2.2 Teor de Sólidos em Volume (S_V)

Trata-se de uma propriedade importante pois é utilizada na determinação de vários parâmetros como, por exemplo, rendimento teórico, espessura de filme úmido e na avaliação comparativa do custo por metro quadrado de tintas. Normalmente, os fabricantes de tintas informam nos boletins técnicos das mesmas o teor de sólidos em volume de seus produtos. O teor de sólidos em volume é a relação entre o volume da parte não volátil da tinta (pigmento, resina e aditivos) e o volume total da mesma, conforme mostrado na fórmula a seguir.

$$V_S = \frac{V_R + V_P + V_A}{V_T} \times 100 \qquad \text{(Eq.3)} \qquad \text{onde,}$$

V_S : teor de sólidos em volume (%)
V_R : volume de resina
V_P : volume de pigmento
V_A : volume de aditivos
V_T : volume total de tinta

Para se ter uma noção desta propriedade, vamos imaginar que um galão de tinta de 3,6 l, completamente cheio, possua em seu interior a seguinte composição em volume: 1 L de pigmento; 2 L de resina e 0,6 L de solvente (volume total = 3,6 l). Neste caso, aplicando-se a Eq.3, o teor de sólidos em volume da tinta será:

$$V_S = \frac{1+2}{3,6} \times 100 \qquad \Rightarrow \qquad \mathbf{V_S = 83,3\ \%}$$

Nos itens a seguir, serão apresentados dois casos práticos em que o conhecimento do teor de sólidos em volume é fundamental nos cálculos envolvidos.

2.3 Cálculo do Rendimento Teórico de uma Tinta (R_T)

No cálculo do rendimento teórico de uma tinta não se consideram todos os tipos de perda que ocorrem durante a aplicação e nem a rugosidade do substrato. Assim sendo, o rendimento teórico é obtido pela seguinte fórmula:

$$R_T = \frac{V_S \times 10}{EPS} \qquad \text{(Eq.4)} \qquad \text{onde,}$$

R_T : rendimento teórico em (m^2/l)

V_S : teor de sólidos em volume (%)

EPS : espessura de película seca (µm)

Exemplo 1: No boletim técnico de uma tinta consta que o teor de sólidos em volume é de 60 %. Qual será o rendimento teórico da referida tinta para uma espessura de película seca de 50 µm? Aplicando-se a Eq.4, tem-se:

$$R_T = \frac{V_S \times 10}{EPS} \qquad \Rightarrow \qquad R_T = \frac{60,0 \times 10}{50} \qquad \Rightarrow \qquad \mathbf{R_T = 12,0\ m^2/L}$$

Exemplo 2: No boletim técnico de uma tinta consta que o teor de sólidos em volume é de 70 %. Qual será o rendimento teórico da referida tinta para uma espessura seca de 50 µm? Aplicando-se a Eq.4, tem-se:

$$R_T = \frac{V_S \times 10}{EPS} \qquad \Rightarrow \qquad R_T = \frac{70,0 \times 10}{50} \qquad \Rightarrow \qquad \mathbf{R_T = 14,0\ m^2/L}$$

Pelos dois exemplos citados, observa-se que, para uma mesma espessura de película seca, quanto maior o teor de sólidos em volume maior o rendimento teórico da tinta.

2.4 Cálculo da Espessura de Filme Úmido (EFU), para Obtenção de uma Determinada Espessura de Película Seca

Quando se exige a aplicação de uma determinada espessura de película seca, os pintores precisam saber previamente qual a espessura de filme úmido (EFU) a ser aplicada, para se obter a espessura seca dentro da faixa desejada. De posse deste valor e da utilização do medidor de EFU os referidos profissionais têm todas as condições para que a aplicação, neste aspecto, seja feita de forma correta. No caso das tintas que possuem secagem muito rápida como, por exemplo, a tinta rica em zinco à base de silicato de etila e o *shop primer* epóxi-isocianato, a medição de espessura de filme úmido não é fácil. Nestes casos, a experiência do pintor é muito importante para se obter a espessura desejada. Outro aspecto importante a destacar é que na obtenção da EFU há que se levar em conta se a tinta será ou não diluída. Nos itens a seguir serão apresentadas as fórmulas de cálculo para as duas condições.

2.4.1 Espessura de filme úmido para uma tinta sem diluição

Neste caso, a fórmula a ser utilizada para o cálculo da EFU é a seguinte:

$$EFU = \frac{EPS}{V_S} \times 100 \qquad \text{(Eq.5)} \qquad \text{onde,}$$

EFU : espessura de filme úmido (µm)

V_S : teor de sólidos em volume (%)

EPS: espessura da película seca (µm)

Exemplo : Deseja-se aplicar uma tinta de modo que a espessura seca seja de 240 µm. Sabendo-se que a tinta possui 80 % de sólidos em volume, calcular a espessura de filme úmido a ser aplicada. Aplicando-se a Eq.5, tem-se:

$$EFU = \frac{EPS}{V_S} \times 100 \quad \Rightarrow \quad EFU = \frac{240}{80} \times 100 \quad \Rightarrow \quad \textbf{EFU = 300 µm}$$

2.4.2 Espessura de filme úmido para uma tinta com diluição

Neste caso, o percentual de diluição terá que ser considerado e a fórmula para calcular a EFU é a seguinte:

$$EFU = \frac{EFS(100 + D)}{S_V} \qquad \text{(Eq.6)} \qquad \text{onde,}$$

EFU : espessura de filme úmido (µm)

V_S : teor de sólidos em volume (%)

EPS: espessura da película seca (µm)

D: diluição da tinta (%)

Exemplo : Tomando como referência a tinta do item anterior (80,0 % de sólidos em volume e espessura de película seca desejada de 240 µm), calcular a EFU se à mesma fosse adicionado 10 % de diluente para facilitar a sua aplicação. Aplicando-se a Eq.6, tem-se:

$$EFU = \frac{240(100+10)}{80} \qquad \Rightarrow \qquad \textbf{EFU = 330 µm}$$

Portanto, com base nos resultados dos exemplos anteriores, quando a tinta sofre diluição a EFU terá quer ser maior para se poder obter a mesma espessura de película seca.

2.5 Cálculo do Volume de Sólidos de uma Tinta, após a sua Diluição

Quando uma tinta sofre diluição ou à mesma é adicionada uma certa quantidade de solvente, o seu volume de sólidos original diminui. Neste caso, o novo teor de sólidos em volume é calculado pela fórmula abaixo:

$$V_{SF} = \frac{V_{SI}}{100+D} \times 100 \qquad \text{(Eq.7)} \qquad \text{onde,}$$

V_{SF}: volume de sólidos final, após a diluição, (%)

V_{SI}: Volume de sólidos inicial, (%)

D: diluição, (%)

Exemplo: O teor de sólidos em volume de uma tinta é de 60 %. Se à mesma for adicionado 20 % de diluente, qual será o teor de sólidos por volume final?. Aplicando-se a Eq.7 tem-se:

$$V_{SF} = \frac{60}{100+20} \times 100 \qquad \textbf{V}_{\textbf{SF}}\textbf{ = 50 \%}$$

2.6 Massa Específica

A massa específica, que numericamente é igual à densidade, é a relação entre a massa de um material e o volume por ele ocupado, conforme mostrado na fórmula abaixo.

$$M_E = \frac{M_T}{V_T} \qquad \text{(Eq.8)} \qquad \text{onde,}$$

M_E: massa específica da tinta (g/cm^3 ou kg/L)

M_T: massa de tinta (g ou kg)

V_T: volume de tinta (cm^3 ou L)

Do ponto de vista prático, para os aplicadores de tintas a massa específica é uma propriedade importante pois com o valor da mesma (normalmente informado pelo fabricante) pode-se converter a massa de uma tinta para o volume correspondente e vice-versa.

Exemplo 1: Qual a massa específica de uma tinta cuja massa de 9,0 kg ocupa um volume de 3,6 l ?.Aplicando-se a Eq.8, tem-se:

$$M_E = \frac{9,0}{3,6} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{M_E = 2,5\ kg/L\ ou\ 2,5\ g/cm^3}$$

Exemplo 2: Sabendo-se que a massa específica de uma tinta é 1,6 g/cm^3, calcular o volume de tinta correspondente a massa de 8,0 kg. Aplicando-se a Eq.8, tem-se:

$$V_T = \frac{M_T}{M_E} \quad \Rightarrow \quad V_T = \frac{8,0}{1,6} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{V_T = 5,0\ L}$$

2.7 Cálculo da Massa ou do Volume de cada Componente, por Ocasião da Preparação e Aplicação das Tintas de dois ou mais Componentes

Nas tintas de dois ou mais componentes, é fundamental que, ao se preparar uma tinta para a aplicação, a quantidade de cada componente esteja em conformidade com a proporção de mistura indicada pelo fabricante da mesma. A mistura dos componentes feita na proporção errada certamente acarretará sérios problemas à tinta uma vez que as propriedades físico-químicas da película serão prejudicadas substancialmente. Se isto ocorrer, a tinta terá que ser completamente removida da superfície. Portanto, além do aspecto técnico, os prejuízos econômicos serão elevados. Como já mencionado anteriormente, uma parte substancial do erros ocorrem por desconhecimento técnico e/ou pela deficiência escolar de alguns profissionais. As fórmulas a seguir são importantes especialmente nos casos em que se deseja preparar quantidades de tinta diferentes daquela que se obtém quando se misturam integralmente os componentes. Em outras palavras, quando a mistura for feita utilizando-se a quantidade total de cada componente, os cálculos não são necessários uma vez que o fabricante já envia o conteúdo de cada um dentro da proporção correta (ver nota).

Nota: *É importante ter-se em mente que a homogeneização adequada, de cada componente individualmente e a da mistura, também é um fator importante para a aplicação das tintas e desempenho dos revestimentos por pintura.*

No caso de tintas de dois componentes (A e B), a quantidade de cada um, seja em massa ou volume, pode ser obtida pelas fórmulas abaixo.

$$Q_A = \frac{A}{A+B} \times Q_D \qquad \text{(Eq.9)}$$

$$Q_B = \frac{B}{A+B} \times Q_D \qquad \text{(Eq.10)} \qquad \text{onde,}$$

Q_A: quantidade de A a ser utilizada na mistura (massa ou volume)

Q_B: quantidade de B a ser utilizada na mistura (massa ou volume)

Q_D: quantidade desejada de tinta (massa ou volume)

A: valor de A na proporção de mistura (indicado no rótulo da embalagem)

B: valor de B na proporção de mistura (indicado no rótulo da embalagem)

Exemplo 1: Uma tinta de dois componentes traz no rótulo a informação que a proporção de mistura em massa é de 100 partes de A para 20 partes de B. Em volume, a relação é de 4 partes de A para 1 parte de B. Com base nestas informações, calcular a quantidade de A e de B para se obter 3,6 kg de tinta misturada (A+B). Calcular também a quantidade de cada componente para se obter 3,0 L de tinta.

Aplicando-se a Eq.9 e a Eq.10 tem-se, para o cálculo em massa, os seguintes valores:

$$Q_A = \frac{100}{100+20} \times 3{,}6\,\text{kg} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{Q_A = 3{,}0\ kg}$$

$$Q_B = \frac{20}{100+20} \times 3{,}6\,\text{kg} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{Q_B = 0{,}6\ kg}$$

Aplicando-se a Eq.9 e a Eq.10 tem-se, para o cálculo em volume, os seguintes valores:

$$Q_A = \frac{4}{4+1} \times 3{,}0\,\text{L} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{Q_A = 2{,}4\ L}$$

$$Q_B = \frac{1}{4+1} \times 3{,}0\,\text{L} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{Q_B = 0{,}6\ L}$$

Observação: *a quantidade de B, em ambos os casos, pode ser também determinada pela diferença entre a quantidade de tinta desejada (Q_D) e a quantidade de A (Q_A) calculada.*

No caso de tintas de três componentes o raciocínio é análogo, tanto para o cálculo em massa quanto em volume. Assim, as fórmulas para o cálculo da quantidade de cada componente são as seguintes:

$$Q_A = \frac{A}{A+B+C} \times Q_D \qquad \text{(Eq.11)}$$

$$Q_B = \frac{B}{A+B+C} \times Q_D \qquad \text{(Eq.12)}$$

$$Q_C = \frac{C}{A+B+C} \times Q_D \qquad \text{(Eq.13)}$$ onde,

Q_A: quantidade de A a ser utilizada na mistura (massa ou volume)

Q_B: quantidade de B a ser utilizada na mistura (massa ou volume)

Q_D: quantidade desejada de tinta (massa ou volume)

A: valor de A na proporção de mistura (indicado no rótulo da embalagem)

B: valor de B na proporção de mistura (indicado no rótulo da embalagem)

C: valor de C na proporção de mistura (indicado no rótulo da embalagem)

Exemplo 2: Uma tinta de três componentes traz no rótulo a informação que a proporção de mistura em massa é de 6 partes de A para 3 partes de B e 1 parte de C. Calcular a massa de cada componente para se obter 5,0 kg de tinta pronta. Aplicando-se a Eq.11, Eq.12 e Eq.13, tem-se:

$$Q_A = \frac{6}{6+3+1} \times 5{,}0\,\text{kg} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{Q_A = 3{,}0\ kg}$$

$$Q_B = \frac{3}{6+3+1} \times 5{,}0\,\text{kg} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{Q_B = 1{,}5\ kg}$$

$$Q_C = \frac{1}{6+3+1} \times 5{,}0\,\text{kg} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{Q_C = 0{,}5\ kg}$$

Nos casos em que um dos componentes da tinta for fornecido na forma sólida como, por exemplo, o zinco em pó nas tintas ricas em zinco à base de silicato de etila, ou em pasta, no caso do pigmento alumínio e/ou zinco em certos tipos de tinta, é aconselhável que a mistura seja feita preferencialmente com a proporção em massa. Caso se deseje obter um determinado volume de tinta, o primeiro passo é transformar este volume para massa. Para tal, basta multiplicar o volume pela massa específica da tinta (A+B), a qual consta normalmente no boletim técnico de produto.

Exemplo 3: Deseja-se preparar 10 litros de uma tinta rica em zinco à base de silicato de etila, sendo que o componente que contém o pó de zinco (A) foi fornecido na forma de pasta. A proporção de mistura, em massa, indicada no rótulo é de 100 partes de A para 24 partes de B (componente que contém a resina). No boletim técnico do produto consta que a massa específica da mistura é 2,3 kg/L. Face ao exposto, calcular a quantidade, em massa, de cada componente para se obter os 10 L de tinta.

A primeira providência a ser tomada é transformar o volume de 10 l em massa. Para tal, basta multiplicá-lo pela massa específica da tinta (ver Eq.8).

Massa de tinta ($\mathbf{Q_D}$) = 10 L x 2,3 kg/L $\Rightarrow$ **23,0 kg**

A seguir, utilizando-se a Eq.9 e a Eq.10, calcula-se a quantidade em massa de cada componente, conforme descrito a seguir.

$$Q_A = \frac{A}{A+B} \times Q_D \quad \Rightarrow \quad Q_A = \frac{100}{124} \times 23{,}0\,\text{kg} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{Q_A = 18{,}5\ kg}$$

$$Q_B = \frac{B}{A+B} \times Q_D \quad \Rightarrow \quad Q_B = \frac{24}{124} \times 23{,}0\,\text{kg} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{Q_B = 4{,}5\ kg}$$

Uma outra situação importante no dia a dia em campo, é quando se precisa saber qual a quantidade de um componente que se deve adicionar a um certa quantidade do outro. Por exemplo, tem-se X kg do componente A de uma tinta e deseja-se saber quanto de B deve ser adicionado respeitando a proporção de mistura. Isto é facilmente resolvido utilizando uma regra de três, conforme mostrado no exemplo a seguir.

Exemplo 4: Uma tinta de dois componentes (A e B) possui a relação de mistura, em massa, de 75 partes de A para 10 partes de B. Calcular a massa do componente B que deve ser adicionada a 6,0 kg do componente A. Utilizando-se uma regra de três, tem-se:

$$75\ (A) \longrightarrow 10\ (B)$$
$$6{,}0\ kg\ (A) \longrightarrow Q_B\ (?)$$

$$Q_B = \frac{10 \times 6{,}0\ kg}{75} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{Q_B = 0{,}8\ kg}$$

2.8 Rendimento Prático (R_P) e Cálculo do Volume de Tinta

No caso do rendimento prático de uma tinta, diferentemente do rendimento teórico, consideram-se todas as perdas durante a aplicação, as quais dependem de vários fatores como, por exemplo, método, local e condições de aplicação da tinta, rugosidade do substrato, complexidade geométrica das estruturas ou equipamentos e experiência e habilidade do pintor. O rendimento prático (R_P) é uma propriedade útil no cálculo do volume de tinta a ser adquirido para uma determinada obra. Neste sentido, o volume de tinta necessário é função de área a ser pintada (m^2) e do rendimento prático (m^2/L), conforme mostrado na fórmula a seguir.

$$V_T = \frac{A}{R_P} \qquad \text{(Eq.14)} \qquad \text{onde,}$$

V_T: volume de tinta necessário (L)
A: área a ser pintada (m^2)
R_P: rendimento prático da tinta (m^2/L)

Exemplo 1: Calcular o volume de tinta a ser utilizado na pintura de 3600 m^2 de uma superfície metálica, sabendo-se que o rendimento prático da mesma é de 10 m^2/L. Calcular também a quantidade necessária de galões. Aplicando-se a Eq.14, tem-se:

$$V_T = \frac{3600\ m^2}{10\ m^2/L} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{V_T = 360\ litros}$$

Para converter o volume de tinta em litros para galões, basta dividir o valor por 3,6. Assim sendo, a quantidade será **100 galões**.

A determinação do rendimento prático (R_P) é obtida a partir do rendimento teórico, levando-se em consideração o fator de aproveitamento (F_A) e as perdas na preparação e aplicação da tinta, conforme mostrado nas fórmulas a seguir.

$$R_P = R_T \times F_A \qquad \text{(Eq.15)}$$

$$F_A = 1 - \frac{Perdas}{100} \qquad \text{(Eq.16)} \qquad \text{onde,}$$

R_P: rendimento prático (m^2/L)
R_T: rendimento teórico (m^2/L)
F_A: fator de aproveitamento (0 a 1,0)
Perdas: material perdido na aplicação (%)

Exemplo 2: Uma tinta possui teor de sólidos em volume de 60,0 %. Considerando-se as perdas na aplicação de 30 %, calcule o rendimento prático da tinta para uma espessura de película seca de 50 µm.

A primeira etapa é determinar o rendimento teórico (R_T) por meio da Eq.4, item 2.3.

$$R_T = \frac{V_S\,(\%) \times 10}{EPS\,(\mu m)} \quad \Rightarrow \quad R_T = \frac{60{,}0 \times 10}{50} \quad \Rightarrow \quad R_T = 12{,}0\ m^2/L$$

A segunda etapa é calcular o fator de aproveitamento (F_A) por meio da Eq.16. Neste caso, com as perdas são de 30 %, tem-se:

$$F_A = 1 - \frac{Perdas}{100} \quad \Rightarrow \quad F_A = 1 - \frac{30}{100} \quad \Rightarrow \quad F_A = 0{,}7$$

Finalmente, calcula-se o rendimento prático (R_P) utilizando-se a Eq.15

$$R_P = R_T \times F_A \quad \Rightarrow \quad R_P = 12{,}0\ m2/L \times 0{,}7 \quad \Rightarrow \quad \mathbf{R_P = 8{,}4\ m^2/L}$$

Como pode ser observado, o cálculo do rendimento prático é simples desde que se conheça o fator de aproveitamento ou as perdas da tinta durante a aplicação. Sem dúvida alguma, este é o fator determinante para se calcular o rendimento prático. Como descrito anteriormente, as perdas durante a aplicação das tintas dependem de muitos fatores e nem sempre são fáceis de serem calculadas ou estimadas. Existem empresas aplicadoras de tintas que procuram documentar o consumo das tintas nas obras executadas pelas mesmas. Com isso, conseguem gerar um histórico confiável sobre o rendimento prático de determinados tipos de tinta, em função das condições de aplicação, o que facilita bastante os trabalhos futuros, no que diz respeito ao volume de tinta a ser comprado.

Quando não há histórico sobre as perdas de uma determinada tinta, existem empresas que adotam certos fatores, em função do método de aplicação, conforme pode ser observado na Tabela 1. São valores que servem apenas para fins orientativos.

Tabela 1 - Fatores para cálculo de rendimento prático, em função do equipamento de aplicação da tinta (*)

Método de aplicação	Perdas (%)	Fator de aproveitamento (F_A)
Trincha	10 a 20	0,8 a 0,9
Rolo	10 a 40	0,6 a 0,9
Pistola de pulverização convencional	30 a 40	0,6 a 0,7
Pistola sem ar (*airless spray*)	20 a 30	0,7 a 0,8

(*) Fonte e cortesia: Literatura técnica da Sherwin-Williams do Brasil (Eng. Celso Gnecco) [1]

Existe também a possibilidade de se usar a metodologia alternativa publicada pelo Subcomitê de Manutenção do GCOI (Eletrobras) [2] para se calcular o rendimento prático de cada demão de tinta considerando-se o método de aplicação, o tipo de superfície, o perfil de rugosidade da superfície

metálica e o tipo de tinta, se de um ou dois componentes. Neste caso, as fórmulas a serem utilizadas, bem como os parâmetros a serem utilizados, estão descritas a seguir.

No caso da primeira e da segunda demãos de tinta, o rendimento prático R_{P1} e R_{P2} é dado pelas seguintes fórmulas:

$$R_{P1} = \frac{S_V \times 10}{EPS + 10 \cdot R} \times fa \times fm \qquad \text{(Eq.17)}$$

$$R_{P2} = \frac{S_V \times 10}{EPS + 5 \cdot R} \times fa \times fm \qquad \text{(Eq.18)}$$

onde,

R_{P1}: rendimento prático da primeira demão (m^2/L)

S_V: teor de sólidos em volume da tinta (%)

EPS: espessura de película seca (µm)

R: coeficiente de rugosidade (consultar Tabela 2)

fm: fator de molhabilidade (tintas de 1 componente = 0,99; tintas de 2 componentes = 0,97)

fa: fator de aplicação (consultar Tabela 3)

Para a terceira demão (R_{P3}) e demais, a fórmula é a seguinte:

$$R_{P3} = \frac{S_V \times 10}{EPS + 5} \times fa \times fm$$

É importante lembrar que todas as alternativas aqui descritas, para calcular o rendimento prático, são sugestões para os casos em que não se tem quaisquer informações sobre o tema em questão para uma determinada tinta.

Tabela 2 - Valor do coeficiente de rugosidade (R)

Perfil médio de rugosidade (µm)	Coeficiente de rugosidade (R)
20	1,3
30	2,0
45	3,0
55	3,2
70	4,7
75	5,0
80	5,4
150	9,0

Tabela 3 - Valor do fator de aplicação (fa)

Método de aplicação	Material	Ambiente	fa
Trincha	Chapas, tanques, painéis metálicos, etc.	abrigado	0,90 a 0,95
		desabrigado	
	Treliças, tubos, etc.	abrigado	0,90
		desabrigado	0,85 a 0,90
Rolo	Chapas, tanques, painéis metálicos, etc.	abrigado	0,85 a 0,90
		desabrigado	0,80 a 0,85
Pistola de pulverização convencional	Chapas, tanques, painéis metálicos, etc.	abrigado	0,75 a 0,80
		desabrigado	0,65 a 0,75
	Treliças, tubos, etc.	abrigado	0,30 a 0,65
		desabrigado	0,20 a 0,60
Pistola sem ar (*airless spray*)	Chapas, tanques, painéis metálicos, etc.	abrigado	0,85 a 0,90
		desabrigado	0,75 a 0,80
	Treliças, tubos, etc.	abrigado	0,30 a 0,50
		desbrigado	0,20 a 0,45

Exemplo 3: Deseja-se pintar o lado montante de 4 comportas, cada uma com área de 450 m^2. Para tal, deverão ser aplicadas 2 demãos de tinta epóxi-poliamina com espessura seca mínima de 180 µm por demão. A referida tinta possui 75 % de sólidos por volume e a aplicação será feita por meio de rolo e ao ar livre. A preparação da superfície será feita por meio de jato aabrasivo e o perfil de rugosidade médio previsto é de 45 µm. Face ao exposto, calcular o volume de tinta a ser gasto na referida pintura.

A primeira etapa é organizar os dados a serem inseridos nas fórmulas. Assim, tem-se:

Área total (4 x 450 m^2): 1800 m^2

Volume de sólidos (V_S): 75 %

Espessura de película seca: 180 µm

Fator de molhabilidade (fm): 0,97 (tinta de 2 componentes)

Coeficiente de rugosidade (R): 3,0 (Tabela 2)

Fator de aplicação (fa): 0,85 (Tabela 3)

A seguir, será calculado o rendimento prático das duas demãos de tinta por meio da utilização da Eq.17 e Eq.18. Assim, tem-se:

$$R_{P1} = \frac{S_V \times 10}{EPS + 10 \cdot R} \times fa \times fm \quad \Rightarrow \quad R_{P1} = \frac{75 \times 10}{180 + 10 \cdot 3{,}0} \times 0{,}85 \times 0{,}97$$

$$\mathbf{R_{P1} = 2{,}94\ m^2/L}$$

$$R_{P2} = \frac{S_V \times 10}{EPS + 5 \cdot R} \times fa \times fm \quad \Rightarrow \quad R_{P2} = \frac{75 \times 10}{180 + 5 \cdot 3{,}0} \times 0{,}85 \times 0{,}97$$

$$\mathbf{R_{P2} = 3{,}17\ m^2/L}$$

Observação: *notar que o rendimento médio das duas demãos de tinta (3,06 m^2/L) está bem próximo do rendimento que se obteria se fossem empregados os dados da Tabela 1, para o mesmo método de aplicação (3,12 m^2/L, utilizando-se F_A=0,75).*

Para calcular o volume de tinta a ser gasto em cada demão, basta dividir a área total (1800 m^2) pelo rendimento prático de cada demão, tal como mostrado na Eq.14 (item 2.8). Assim, tem-se:

Volume de tinta na primeira demão (V_{T1}) e na segunda demão (V_{T2})

$$V_{T1} = \frac{A}{R_P} \quad \Rightarrow \quad V_{T1} = \frac{1800}{2{,}94} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{V_{T1} = 612{,}2\ L}$$

$$V_{T2} = \frac{A}{R_P} \quad \Rightarrow \quad V_{T2} = \frac{1800}{3{,}17} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{V_{T2} = 567{,}8\ L}$$

Portanto, o volume total de tinta a ser gasto com a aplicação das duas demãos (V_{T1} + V_{T2}) é de **1180 litros**. Caso se deseje calcular a quantidade de galões, basta dividir este resultado por 3,6.

3. AQUISIÇÃO DE TINTAS - AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE CUSTOS

Num processo de concorrência para aquisição de tintas, a decisão sobre a de qual fabricante comprar não pode considerar apenas o custo unitário das mesmas, mesmo que atendam a uma determinada especificação técnica. Outros fatores têm que ser considerados. Nem sempre uma tinta com custo inicial mais baixo é a que proporciona o menor custo ao esquema de pintura aplicado. Em outras palavras, a tinta mais econômica é a que possui o custo por metro quadrado mais baixo (R$/$m^2$, menor).

Portanto, além do preço unitário das tintas (R$/L), deve-se considerar também o teor de sólidos em volume das mesmas, o qual será necessário para o cálculo do rendimento teórico (m^2/L). Dividindo-se o preço da tinta pelo seu rendimento teórico obtém-se o custo por metro quadrado (R$/$m^2$). Com este valor pode-se selecionar a(s) tinta(s) mais econômica(s). O custo por metro quadrado de uma tinta também pode ser calculado diretamente pela fórmula a seguir.

$$C = \frac{P \times EPS}{V_S \times 10} \qquad \text{(Eq.19)} \qquad \text{onde,}$$

C: custo por metro quadrado da tinta (R$/$m^2$)

EPS: espessura de película seca (µm)

P: preço de 1 litro de tinta (R$/L)

V_S: teor de sólidos em volume (%)

Exemplo 1: Uma empresa realizou uma concorrência para compra de uma tinta normalizada. Quatro fabricantes (A, B, C e D) enviaram suas cotações de preços e o teor de sólidos em volume de seus produtos, os quais estão apresentados a seguir. Todos os produtos atendiam a norma técnica e a espessura de película seca a ser aplicada era de 25 µm. Em função dos dados apresentados, fazer uma avaliação econômica da tinta de cada fabricante.

Fabricante	**Preço (R$/L)**	**Volume de sólidos (%)**
A	62,0	30,0
B	68,0	32,0
C	75,0	40,0
D	82,0	34,0

- Se a decisão de compra fosse feita apenas com base no preço da tinta, a de menor custo seria a do fabricante A, seguido do B, C e D (maior custo), ou seja, A < B < C < D.
- Fazendo-se a avaliação de custo por metro quadrado, utilizando-se a Eq.19, para a espessura de película seca de 25 µm, tem-se, para cada fabricante (FA, FB, FC e FD):

$$FA = \frac{62,0 \times 25}{30 \times 10} \Rightarrow \textbf{FA = R\$ 5,17/m}^2 \qquad FB = \frac{68,0 \times 25}{32 \times 10} \Rightarrow \textbf{FB = R\$ 5,31/m}^2$$

$$FC = \frac{75,0 \times 25}{40 \times 10} \Rightarrow \textbf{FC = R\$ 4,69/m}^2 \qquad FD = \frac{82,0 \times 25}{34 \times 10} \Rightarrow \textbf{FD = R\$ 6,03/m}^2$$

- Analisando-se o custo por metro quadrado, chega-se a conclusão que a tinta mais econômica é a do fabricante C, seguido do A, B e D (maior custo), ou seja, C < A < B < D. Como se pode observar, esta avaliação mostra que a aquisição de tintas somente com base no preço por litro pode conduzir a gastos maiores com a pintura.

É importante destacar que esta metodologia de avaliação não considera o custo do diluente da tinta, nos casos em que a diluição for necessária para facilitar a aplicação. Ao se fazer uma tomada de preços para a compra de tinta(s), é recomendável exigir, formalmente, dos fabricantes o custo do diluente e o percentual de diluição para um determinado método de aplicação. Quando os valores forem muito discrepantes entre os fabricantes, é importante fazer-se uma avaliação considerando-se a diluição e o custo do diluente, para se tomar uma decisão técnica e econômica mais consistente. Neste caso, a avaliação terá que considerar alguns fatores importantes como:

- O preço de 1 litro de tinta diluída;
- O percentual de diluição
- O teor de sólidos em volume após a diluição e,
- O preço do diluente.

O preço de 1 litro de tinta após a sua diluição pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$P_{TD} = \frac{100 \times P_{TI} + D \times P_D}{100 + D} \qquad \text{(Eq.20)} \qquad \text{onde,}$$

P_{TD}: preço da tinta diluída (R$/L)

P_{TI}: preço inicial da tinta (R$/L)

D: diluição (%)

P_D: preço do diluente (R$/L)

O cálculo do teor de sólidos em volume, após a diluição da tinta é feito por meio da Eq.7, apresentada no item 2.5, reapresentada a seguir.

$$V_{SF} = \frac{V_{SI}}{100 + D} \times 100$$

V_{SF}: volume de sólidos final após a diluição (%),

V_{SI}: Volume de sólidos inicial, (%)

D: diluição, (%)

O custo por metro quadrado proporcionado por uma tinta (R$/m^2) é determinado pela seguinte fórmula:

$$TX = \frac{P_{TD} \times EPS}{V_{SF} \times 10} \qquad \text{(Eq.21)} \qquad \text{onde,}$$

TX: custo por metro quadrado proporcionado por uma tinta X, após a sua diluição (R$/m^2)

P_{TD}: preço da tinta após a sua diluição (R$/L)

P_{TI}: preço inicial da tinta (R$/L)

V_{SF}: teor de sólidos em volume da tinta após a diluição (%)

Exemplo 2: Dois fabricantes, A e B, enviaram a cotação de preço de uma determinada tinta normalizada. Para facilitar a compreensão, as tintas foram codificadas como TA e TB, respectivamente. De acordo com as solicitações feitas aos dois fabricantes, as duas tintas possuíam as seguintes características:

Tinta	Preço (R$/L)	Teor de sólidos em volume (%)	Diluição para pistola convencional (%)	Custo do diluente (R$/L)
TA	30,50	40,0	5	8,00
TB	35,10	48,0	20	10,00

Em função dos dados apresentados, fazer uma avaliação econômica das tintas, considerando a espessura de película seca de 40 µm.

- Levando-se em conta apenas o preço unitário das tintas, o que não é recomendável, a tinta TA é a mais barata. Portanto, um comprador sem experiência optaria pela sua aquisição.

- Considerando-se o custo por metro quadrado (R$/m^2) das duas tintas, utilizando-se a Eq.19, tem-se:

$$CA = \frac{P \times EPS}{V_S \times 10} \qquad CA = \frac{30{,}50 \times 40}{40 \times 10} \qquad CA = R\$\ 3{,}05/m^2$$

$$CB = \frac{P \times EPS}{V_S \times 10} \qquad CB = \frac{35{,}10 \times 40}{48 \times 10} \qquad CB = R\$2{,}93/m^2$$

Como pode ser observado, apesar da diferença ser pequena, a tinta TB apresenta custo inferior, quando se considera o custo por metro quadrado, sem a diluição das tintas.

- Para se calcular o custo por metro quadrado, considerando-se a diluição das tintas e o preço dos diluentes, será necessário determinar o preço de 1 litro de tinta diluída (usar Eq.20) e o teor de sólidos em volume após a diluição (usar Eq.7). Com os dados obtidos, calcula-se o custo por metro quadrado. Aplicando-se esta metodologia, tem-se:

a) **Preço de 1 litro de tinta diluída (TA e TB):**

$$P_{TDA} = \frac{100 \times P_{TI} + D \times P_D}{100 + D} \qquad P_{TDA} = \frac{100 \times 30{,}50 + 5 \times 8}{100 + 5} \qquad \mathbf{P_{TDA} = R\$\ 29{,}43/L}$$

$$P_{TDB} = \frac{100 \times P_{TI} + D \times P_D}{100 + D} \qquad P_{TDA} = \frac{100 \times 35{,}10 + 20 \times 10}{100 + 20} \qquad \mathbf{P_{TDA} = R\$\ 30{,}92/L}$$

b) **Volume de sólidos das tintas após a diluição:**

$$V_{SFA} = \frac{V_{SI}}{100 + D} \times 100 \qquad V_{SFA} = \frac{40}{100 + 5} \times 100 \qquad \mathbf{V_{SFA} = 38{,}1\ \%}$$

$$V_{SFB} = \frac{V_{SI}}{100 + D} \times 100 \qquad V_{SFB} = \frac{48}{100 + 20} \times 100 \qquad \mathbf{V_{SFB} = 40{,}00\ \%}$$

c) **Custo por metro quadrado das tintas TA e TB, considerando a diluição:**

$$TA = \frac{P_{TDA} \times EPS}{V_{SF} \times 10} \qquad TA = \frac{29{,}43 \times 40}{38{,}1 \times 10} \qquad \mathbf{TA = R\$\ 3{,}09/m^2}$$

$$TB = \frac{P_{TDB} \times EPS}{V_{SF} \times 10} \qquad TB = \frac{30{,}92 \times 40}{40 \times 10} \qquad \mathbf{TB = R\$\ 3{,}09/m^2}$$

Como pode ser observado, o custo por metro quadrado foi exatamente o mesmo. Diante deste resultado e considerando-se os cálculos anteriores, qual tinta deve ser adquirida ? Trata-se de um caso em que, como não existem diferenças significativas no custo por metro quadrado, o aspecto técnico tem que prevalecer. Entre uma tinta que necessita de 5 % de diluição e outra que necessita de 20 %, a opção técnica pela compra daquela que necessita de uma diluição menor é a mais correta, portanto a tinta TA. Com este exemplo procurou-se mostrar que, quando uma tinta

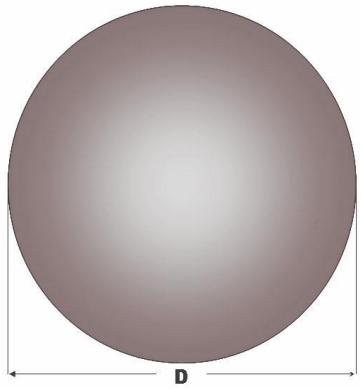
necessita de diluição e os valores das diluições e os custos dos diluentes são discrepantes, uma análise técnica também pode auxiliar na compra dos produtos técnica e economicamente mais adequados.

4. CÁLCULO DE ÁREA PARA PINTURA (*)

Neste item serão apresentadas as fórmulas para o cálculo de área de tanques e tubulações, com o objetivo de estimar o volume de tinta a ser utilizado na pintura dos mesmos. Também serão apresentadas fórmulas para cálculo de área de figuras geométricas.

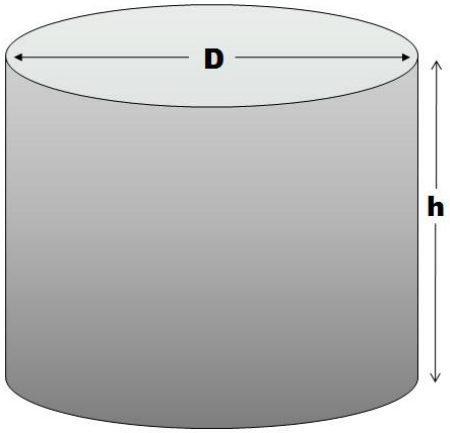
(*) O conteúdo técnico aqui apresentado foi elaborado com base nas informações extraídas da literatura técnica da Sherwin-Williams [1].

4.1 Tanques e Tubulações

<table>
<tr>
<td>

Tanque esférico</td>
<td>Área interna ou externa

$A = \pi \times D^2$, onde:

A: área
D: diâmetro
π: 3,1416</td>
</tr>
<tr>
<td>

Tanque cilíndrico com teto plano</td>
<td>Área interna ou externa (costado+fundo+teto) (*)

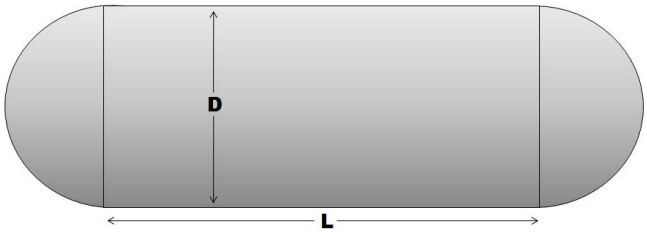
$A = (\pi \times D \times h) + \left[2 \times \left(\frac{\pi \times D^2}{4}\right)\right]$

(*) caso a parte externa do fundo do tanque não seja considerada, a fórmula para cálculo da área externa passa a ser:

$A = (\pi \times D \times h) + \frac{\pi \times D2}{4}$

onde,

A: área
D: diâmetro
h: altura
π: 3,1416</td>
</tr>
</table>



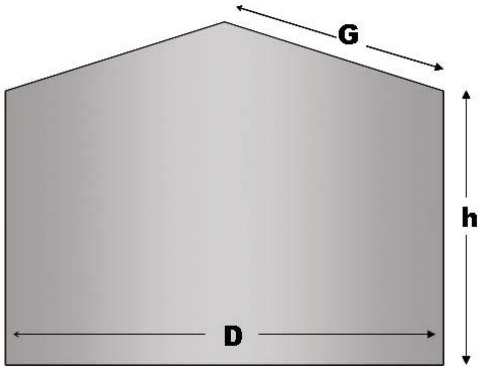
Cilindro com extremidades abauladas (calotas semi-esféricas)

Área interna ou externa (parte cilíndrica + calotas)

$$A = (\pi \times D \times L) + (\pi \times D^2)$$

onde,

A: área
D: diâmetro
L: comprimento (geratriz)
π: 3,1416



Tanque com teto cônico

Área interna ou externa (costado+fundo+teto) (*)

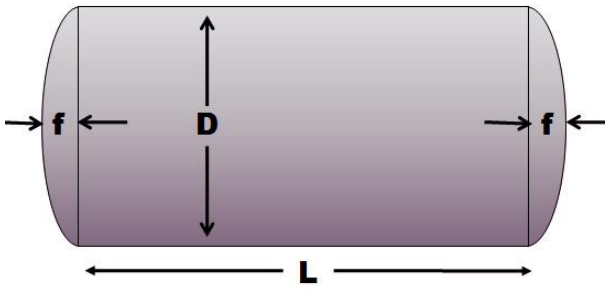
$$A = (\pi \times D \times h) + (\frac{\pi \times D \times G}{2}) + (\frac{\pi \times D^2}{4})$$

(*) caso a parte externa do fundo do tanque não seja considerada, a fórmula para cálculo da área externa passa a ser:

$$A = (\pi \times D \times h) + (\frac{\pi \times D \times G}{2})$$

onde,

A: área
D: diâmetro
h: altura
G: geratriz
π: 3,1416



Cilindro com extremidades abauladas (calotas circulares)

Área interna ou externa (parte cilíndrica + calotas)

$$A = (\pi \times D \times L) + \left[2 \times \pi \times \left(\frac{D^2}{4} + f^2\right)\right]$$

onde,

A: área
D: diâmetro
L: comprimento (geratriz)
π: 3,1416



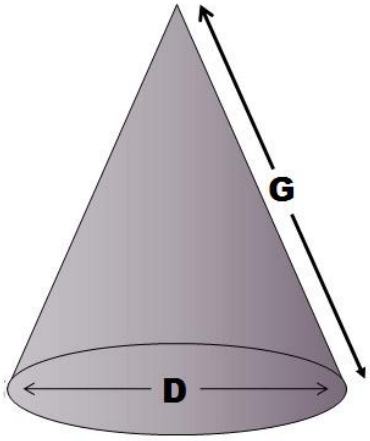
Tubo

Área interna ou externa

$$A = \pi \times D \times L$$

onde,

A: área
D: diâmetro
L: comprimento (geratriz)
π: 3,1416



Tanque cônico

Área interna ou externa (costado+fundo+teto) (*)

$$A = \frac{\pi \times D \times G}{2} + \frac{\pi \times D^2}{4}$$

(*) caso a parte externa do fundo do tanque não seja considerada, a fórmula para cálculo da área externa passa a ser:

$$A = \frac{\pi \times D \times G}{2}$$

onde,

A: área
D: diâmetro
G: geratriz
π: 3,1416



Paralelepípedo retangular

Área interna ou externa (*)

$$A = 2 \times (L \times h) + 2 \times (L \times P) + 2 \times (h \times P)$$

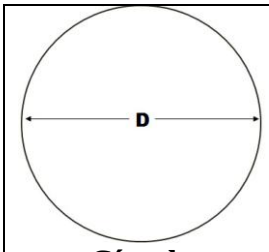
(*) caso a parte externa do fundo não seja considerada, a fórmula para cálculo da área externa passa a ser:

$$A = 2 \times (L \times h) + (L \times P) + 2 \times (h \times P)$$

onde,

A: área
L: comprimento
h: altura
P: largura

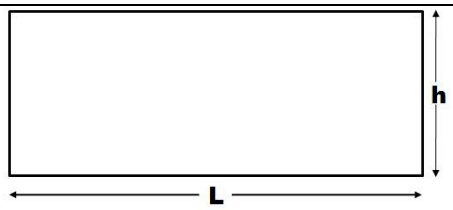
4.2 Cálculo de Área de Figuras Geométricas



Círculo

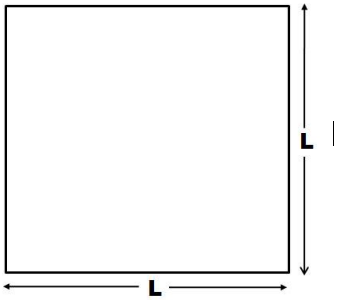
$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$\pi = 3{,}1416$



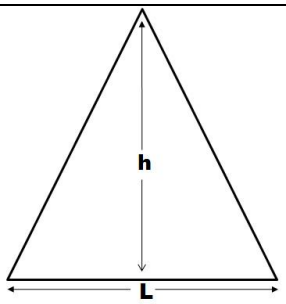
Retângulo

$$A = L \times h$$



Quadrado

$$A = L \times L$$



Triângulo

$$A = \frac{L \times h}{2}$$

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Sherwin-Williams, literatura técnica.
[2]SCM-053, Critérios para a determinação do rendimento de tintas, GCOI, Subcomitê de Manutenção, Rio de Janeiro, maio (1987).

6. Curriculum Vitae Resumido dos autores

Fernando de L.Fragata

Graduado em engenharia química pela Univesidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ (1979). De 1977 a 1979 trabalhou como Químico formulador de tintas, na Quimica Ind. União. Pesquisador da área de corrosão da Eletrobras-Cepel de 1979 a 2013 (quando se aposentou). Inspetor qualificado de revestimentos, (NACE-USA). Instrutor do curso de inspetores de pintura da ABRACO/PETROBRAS, desde 1987. Co-autor do livro "Proteção Anticorrosiva de Metais na Atmosfera", editado pelo CYTED (Espanha). Possui mais de 130 trabalhos publicados na área de revestimentos anticorrosivos. Possui 5 prêmios por trabalhos de pesquisa realizados. Recebeu a retorta de ouro em 1999, homenagem do CRQ e do Sindicato dos Químicos e Engenheiros Químicos do Rio de Janeiro aos profissionais de destaque na área de química. Membro de diversas associações técnicas (SSPC – USA, ALCOP, ABRACO).

Celso Gnecco

Engenheiro quimico formado em 1974 pela Escola Superior de Química Oswaldo Cruz em São Paulo/SP, Ex chefe do Laboratório de Pesquisas e Desenvolvimento de Tintas do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, onde trabalhou de 1969 a 1990. Gerente de Treinamento Técnico da Sherwin-Williams-Unidade Sumaré, desde 1990. Professor da ABRACO, no Curso Inspetor de Pintura Nivel I em São Paulo/IPT, desde 2007. Professor da ABRAFATI no Curso Tintas Ciência e Tecnologia, desde 1993. Professor da ABENDI no Curso de Formação de Inspetores de Equipamentos-Pintura e Revestimentos não Metálicos, desde 2005.