

## Tensão Superficial e sua Relação com a Decoração em Revestimentos Cerâmicos

**Emerson Colonetti\*, Fábio Elyseu**

*Manchester Química do Brasil S.A.,  
Rua Severino Tescarollo, 545, Distrito Industrial Alfredo Rella,  
13255-410 Itatiba, São Paulo - SP, Brasil  
\*e-mail: colonettiemerson@hotmail.com*

**Resumo:** A tensão superficial é uma propriedade físico-química que deve ser controlada no processo de decoração de placas cerâmicas, especialmente no processo que utiliza cilindros poliméricos com incisões a laser (tipo rotocolor). A necessidade de adição de tensoativos nas formulações de veículos vem sendo estudado nos últimos anos pelas empresas fornecedoras de aditivos, devido às novas técnicas de decoração. Demonstrar alguns conceitos como a relação da tensão superficial com o processo de decoração, determinar a tensão superficial e o ângulo de contato, verificar a estabilidade da tensão superficial dos veículos em diferentes composições de tintas cerâmicas são os temas abordados neste artigo.

**Palavras-chave:** *tensão superficial, ângulo de contato, tensoativos, pressão capilar.*

### 1. Introdução

A técnica de decoração em revestimentos cerâmicos evoluiu muito nas últimas duas décadas. A utilização de veículos a base de óleos minerais foi substituída pela base aquosa praticamente por completo. As máquinas aplicadoras que utilizavam tela plana já não são mais utilizadas, pois não atendem as novas necessidades de qualidade e velocidades de produção. Novos sistemas rotativos, cilindros poliméricos com incisões a laser, dominam o mercado atualmente. Sistemas de impressão a jatos de tinta já são utilizados para algumas aplicações especiais. Todas estas evoluções em equipamentos foram acompanhadas pela consequente evolução dos veículos e aditivos.

A tensão superficial é uma propriedade físico-química que trata das interações interfaciais existentes entre os pigmentos, veículos, equipamentos e esmaltes cerâmicos. Deve ser controlada para que a decoração alcance um nível de qualidade mínimo necessário em uma etapa do processo, ligada diretamente a estética do produto acabado<sup>1</sup>.

O conceito da tensão superficial também é aplicado a esmaltes cerâmicos<sup>2</sup> quando estão no estado líquido, fundidos, porém este artigo se limita ao estudo com fluidos para decoração, que são compostos líquidos à temperatura ambiente.

### 2. Fundamentos

#### 2.1. Tensão superficial

Tensão superficial pode ser definida como sendo o trabalho necessário para aumentar a área superficial de um líquido ou sólido<sup>3</sup>. Líquidos com tensão superficial alta tendem a assumir forma esférica (menor área superficial para um dado volume). As moléculas de sua superfície passam a se comportar como um filme, isto ocorre porque na superfície do líquido existe desequilíbrio de forças de atração moleculares como as de van der Waals<sup>4</sup>. Assim as moléculas da superfície possuem menor afinidade pelo ar, o que as impele para o interior, onde estarão cercadas igualmente de todos os lados por moléculas de natureza semelhante e, portanto o equilíbrio é maior (Figura 1). Essa atração faz com que as moléculas da superfície se aproximem mais, comprimindo assim, a área superficial do líquido<sup>5</sup>. Para romper este filme e aumentar a área superficial do líquido é necessário realizar trabalho.

#### 2.2. Tensoativos ou surfactantes

Tensoativos ou surfactantes são aditivos utilizados para modificar a tensão superficial de líquidos, atuam na interface dos materiais como gás/líquido, líquido/sólido, aumentando a afinidade entre eles. As propriedades anfílicas, dos surfactantes, são responsáveis por sua aplicabilidade. A característica anfílica de tensoativos é em função de suas moléculas possuírem uma extremidade polar e outra apolar, com afinidade tanto por componentes polares, como por apolares (Figura 2).

Surfactantes são utilizados em processos cerâmicos quando molhamento e penetração dos líquidos são propriedades importantes, como por exemplo, no aumento da capacidade que um fluido serigráfico possui de molhar os óxidos cerâmicos ou de penetrar nos alvéolos de um cilindro polimérico.

#### 2.3. Ângulo de contato e molhamento

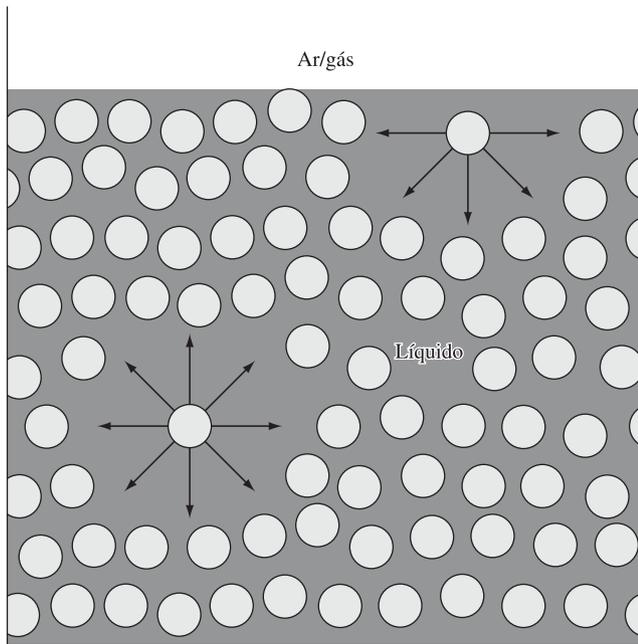
Quando líquidos e sólidos são colocados em contato, pode haver uma maior ou menor área de contato entre eles. Líquidos com alta tensão superficial possuem capacidade reduzida de molhamento, sólidos com energia superficial baixa são difíceis de serem molhados. A tensão superficial do líquido é uma propriedade que pode ser modificada para aumentar a área de contato com o sólido.

O fenômeno de molhamento pode ser representado por uma gota de líquido sobre a superfície de um sólido (Figura 3), quando o ângulo de contato entre um líquido e um sólido se situa entre 0° e 90°, diz-se que o líquido molha a superfície do sólido, e quando estiver entre 90° e 180°, considera-se que o líquido não molha o sólido.

A conhecida equação de Young-Dupré (Equação 1) relaciona as tensões superficiais do líquido ( $\gamma_l$ ) e do sólido ( $\gamma_s$ ), a tensão interfacial entre as duas fases ( $\gamma_{ls}$ ) com o ângulo de contato ( $\theta$ ) entre os mesmos:

$$\gamma_s - \gamma_{ls} = \gamma_l (\cos\theta) \quad (1)$$

Esta equação tem fundamental importância no estudo dos fenômenos de molhamento e inclusive pode ser deduzida termodinamicamente<sup>6</sup>.



**Figura 1.** Equilíbrios de forças de atração entre moléculas de um líquido na superfície em contato com ar, e no interior do líquido.



**Figura 2.** Representação de uma molécula de tensoativo, grupo hidrófobo que possui afinidade por compostos de baixa polaridade, e grupo hidrófilo que possui afinidade por compostos polares.

#### 2.4. Coeficiente de espalhamento

O coeficiente de espalhamento ( $S_{ls}$ ) pode ser usado para verificar se o líquido molhará um sólido ou não (Equação 2).

$$S_{ls} = \gamma_s - \gamma_{ls} - \gamma_l \quad (2)$$

Quando  $S_{ls} > 0$ , o líquido espalha-se sobre o sólido e, portanto, molha o sólido<sup>6</sup>.

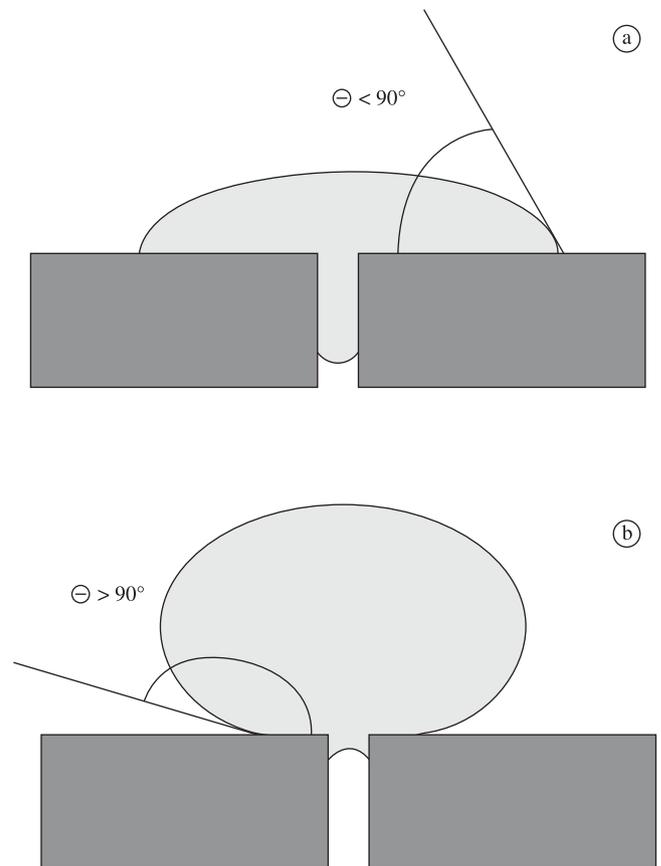
#### 2.5. Capilaridade

A superfície de um cilindro polimérico com incisões a laser (tipo rotocolor), ou a superfície de um esmalte cerâmico antes de queimado (Figura 4), podem ser considerados como uma coleção de capilares. A capacidade que um líquido tem de penetrar nestes capilares é dependente da tensão superficial do líquido e da energia superficial do material a ser molhado.

A Equação de Jurin (Equação 3) pode ser utilizada para determinar a capacidade que um determinado líquido possui de penetrar nos capilares de um sólido:

$$\Delta P = \frac{(2\gamma_L \cos\theta)}{r} \quad (3)$$

onde  $\Delta P$  é a variação da pressão capilar,  $r$  o raio do capilar,  $\gamma_L$  a tensão superficial do líquido e  $\theta$  o ângulo de contato (Figura 3).



**Figura 3.** Representação do ângulo de contato de um líquido sobre um sólido e de um capilar. a) O líquido apresenta tensão superficial baixa, menor ângulo de contato com o sólido, molha e penetra no capilar; e b) O líquido apresenta tensão superficial alta, maior ângulo de contato com o sólido, não molha e não penetra no capilar.

Quanto maior o ângulo de contato menor a pressão capilar chegando a ser negativa quando o ângulo é maior que  $90^\circ$  ( $\cos \theta$  é negativo). Quanto maior a pressão capilar maior a capacidade de penetração<sup>3</sup>.

### 3. Tensão Superficial em Veículos e Tintas Cerâmicas

A importância da tensão superficial, para ancoragem das tintas cerâmicas nos esmaltes, preenchimento dos alvéolos dos cilindros, velocidade de transferência das tintas, ou seja, para uma adequada aplicação com cilindros poliméricos com incisões a laser é bem conhecida.

No desenvolvimento dos veículos deve-se conhecer o comportamento destes em relação à tensão superficial para garantir a qualidade necessária de aplicação.

Existem vários métodos para determinar a tensão superficial de líquidos. O método adotado neste trabalho foi o da gota pendente. As tensões superficiais de diferentes fórmulas de tintas cerâmicas e veículos foram determinadas. Foi determinado também o ângulo de contato destes veículos e tintas cerâmicas, sobre a superfície de dois tipos de cilindros muito utilizados na indústria de revestimentos cerâmicos. A Tabela 1 apresenta a tensão superficial média das diferentes fórmulas de veículos e tintas cerâmicas avaliadas.

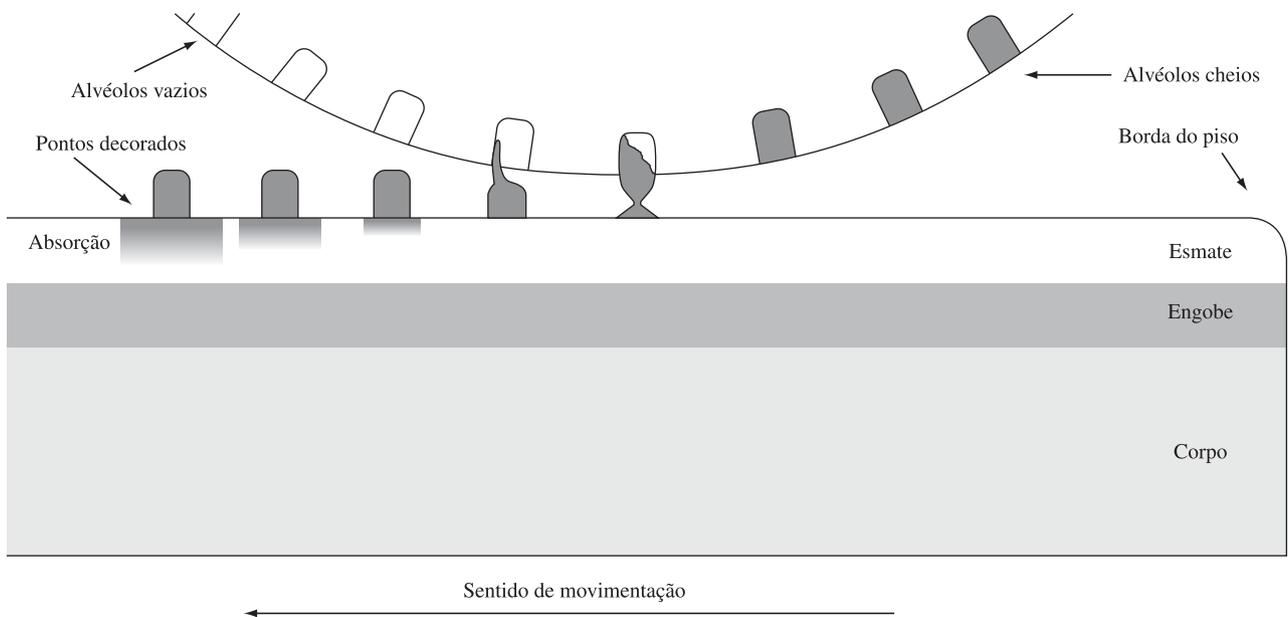


Figura 4. Esquema do mecanismo de aplicação de decoração com Rotocolor (fonte: System Brasil).

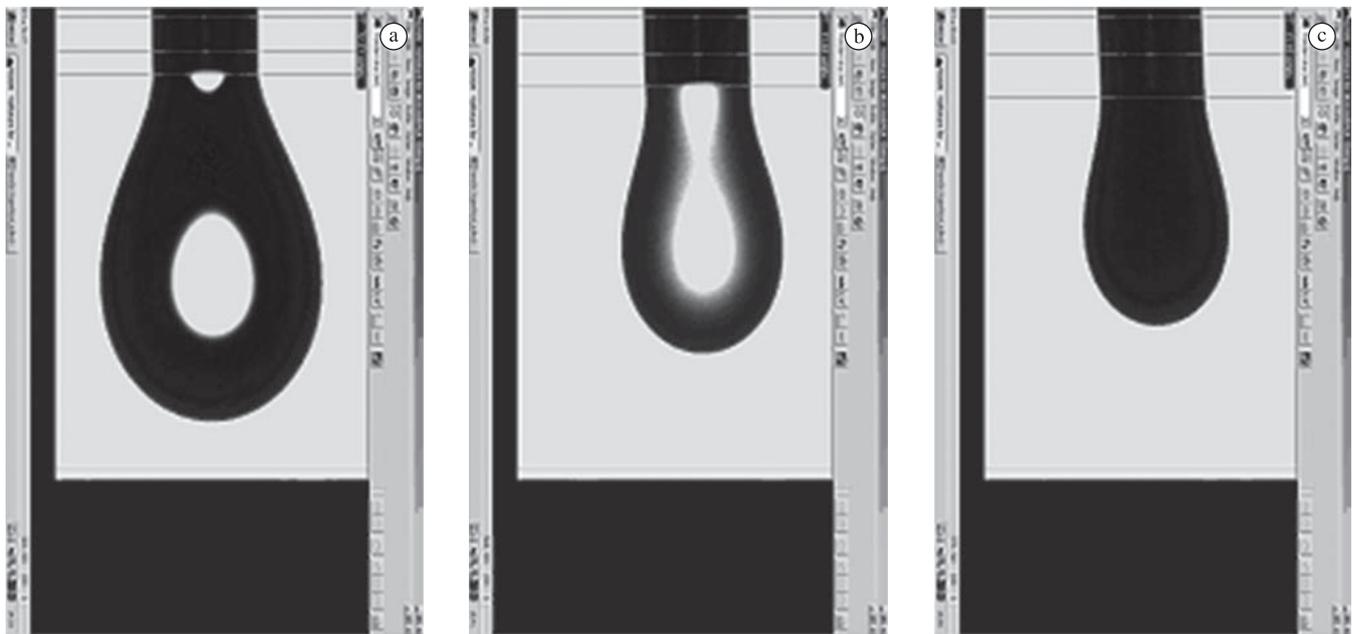


Figura 5. Imagens utilizadas para a medição da tensão superficial pelo método da gota pendente: a) água, tensão superficial média 72,03 dinas.cm<sup>-1</sup>; b) veículos, tensão superficial média 33,10 dinas.cm<sup>-1</sup>; e c) diferentes composições de tintas preparadas, tensão superficial média 33,40 dinas.cm<sup>-1</sup>.

Tabela 1. Tensão superficial de alguns materiais comuns.

| Material                    | Tensão superficial dinas.cm <sup>-1</sup> |
|-----------------------------|---|
| Água                        | 73  |
| Ceras, parafinas            | 30  |
| Sujeira e óleo              | 20-25                                     |
| Politetrafluoretileno       | 18  |
| Dietilenoglicol             | 44  |
| Dipropilenoglicol           | 35  |
| Monoetilenoglicol           | 48  |
| Propilenoglicol             | 36  |
| Veículos / tintas cerâmicas | 33  |

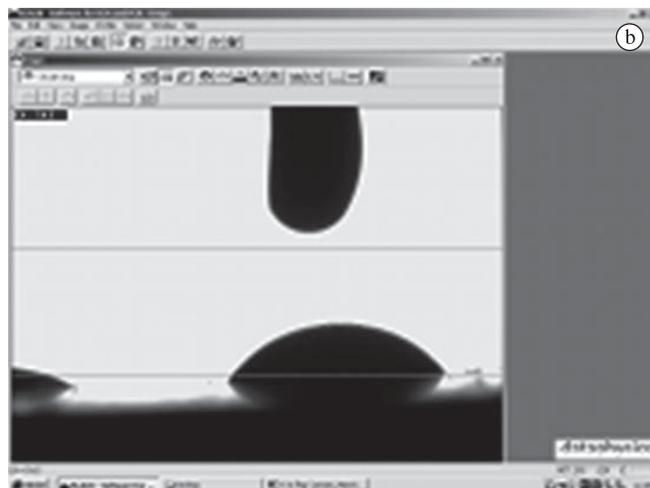
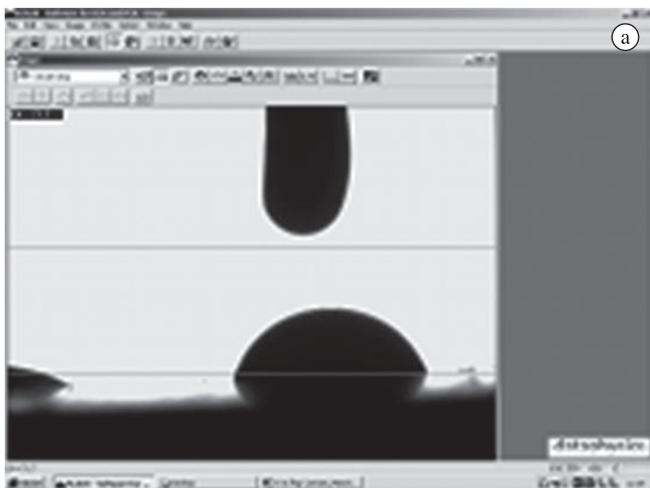
## 4. Ensaio de Ângulo de Contato e Tensão Superficial

### 4.1. Método

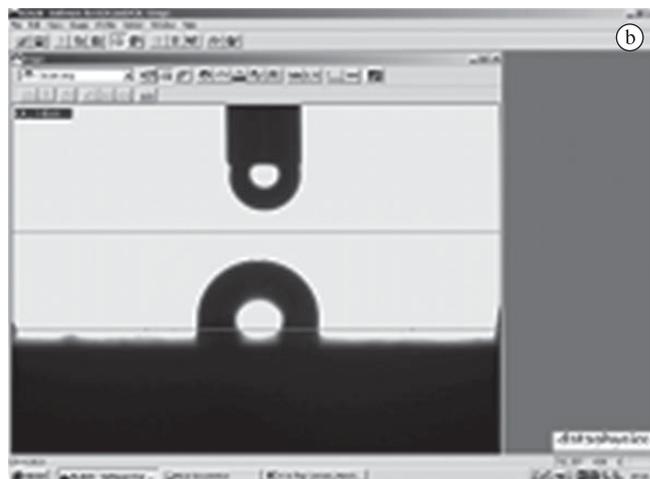
Para realização dos ensaios, foi utilizado um equipamento OCA 15” Dataphis – LabControl. As tensões superficiais e os ângulos de contato foram medidos a 20 °C.

### 4.2. Resultados e discussão

As tensões superficiais das diferentes composições de veículos determinadas apresentaram média de 33,10 ± 1,20 dinas.cm<sup>-1</sup>



**Figura 6.** Imagens utilizadas para a medida do ângulo de contato de uma tinta sobre um substrato de um cilindro polimérico a 20 °C. a) no momento que a gota é aplicada, ângulo 75,80°; e b) após um minuto, ângulo 58,40°.



**Figura 7.** Imagens utilizadas para a medida do ângulo de contato da água destilada sobre um substrato de um cilindro polimérico a 20 °C. a) no momento que a gota é aplicada ângulo 109,80°; e b) após um minuto ângulo 106,50°.

(Figura 5). Tintas de diferentes composições utilizando-se corantes de composições variadas foram usadas para averiguar a estabilidade dos veículos em diferentes situações e apresentaram uma média de  $33,40 \pm 0,18$  dinas.cm<sup>-1</sup>. A tensão superficial da água destilada foi determinada para ajuste do equipamento apresentando um valor de  $72,03 \pm 0,02$ .

Os ângulos de contato para as mesmas tintas e veículos utilizados na avaliação da tensão superficial, foram avaliados sobre dois tipos de cilindros comumente utilizados nas indústrias cerâmicas de revestimentos. O ângulo de contato médio inicial foi de  $75,80^\circ \pm 4,50$  e após um minuto da aplicação dos líquidos sobre a superfície dos cilindros poliméricos de  $58,40^\circ \pm 4,10$  (Figura 6). É importante lembrar que estes ensaios foram realizados sobre dois tipos de cilindros comumente utilizados na indústria de revestimentos cerâmicos.

O ângulo de contato da água sobre os mesmos cilindros também foi determinado (Figura 7) apresentando um ângulo de inicial  $109,80^\circ \pm 4,90$  e após um minuto da aplicação  $106,50^\circ \pm 4,50$ .

O ângulo de contato da água pura sobre os cilindros poliméricos é maior que 90°, nesta situação a pressão capilar é negativa, o que

significa que a água pura não consegue preencher adequadamente os alvéolos dos cilindros. Os ângulos de contato dos veículos e tintas avaliados são menores que 90°, eles devem com isso carregar adequadamente os alvéolos dos cilindros, pois a pressão capilar nesta situação é positiva.

## 5. Conclusões

A redução da tensão superficial facilita a penetração de líquidos em capilares, pois líquidos com tensão superficial mais baixa necessitam de menos trabalho para expandir sua área superficial.

Os ângulos de contato dos veículos e tintas cerâmicas analisados apresentaram valores inferiores a 90°, e demonstraram estabilidade nas diferentes situações avaliadas. Considerando que os alvéolos dos cilindros aplicadores e os poros dos esmaltes cerâmicos cru possuem dimensões capilares, é normal a adição de tensoativos na composição de veículos para melhorar o preenchimento dos alvéolos e transferência das tintas cerâmicas.

O conhecimento sobre a físico-química de superfície é necessário para o desenvolvimento de bons veículos e para um controle de qualidade adequado.

## Referências

1. SYSTEMBRASIL. **Tecnologia Cerâmica para Decoração**. Versão 4.0. Rio Claro, 2005. 120 p.
2. Van VLACK, L. H. **Propriedades dos Materiais Cerâmicos**. São Paulo: Blücher, 1973. 323 p.
3. ADAMSON, A. W.; ALICE, P. **Physical Chemistry of Surfaces**. 6 ed. United States of America: Wiley-Interscience, 1997. 784 p.
4. SOUZA, E. F. **Aulas Prática de Físico-Química C**. Campinas: Faculdade de Química, PUCC, 2009. 87 p.
5. FAZENDA, J. M. R. **Tintas e Vernizes**. 3 ed. São Paulo: Blücher, 2005. 1044 p.
6. SHAW, D. J. **Introdução à Química dos Colóides e de Superfícies**. São Paulo: Blücher, 1975. 184 p.