



## **DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA COMPUTACIONAL PARA O CÁLCULO AUTOMATIZADO DO ÂNGULO DE CONTATO**

**J.M.V.B.S. Silva**

Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica – UFRN  
Campus Universitário, Lagoa Nova CEP 59.072-970 Natal-RN  
E-mail: joaomorenovilasboas@gmail.com

**C.M.A. Andrade**

Departamento Acadêmico de Tecnologia Industrial – DATECI  
Av. Salgado Filho, 1159 Morro Branco CEP 59.000-000 Natal-RN  
E-mail: cristian.araujo@gmail.com

**J.C. Sá**

Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Materiais – UFRN  
Campus Universitário, Lagoa Nova CEP 59.072-970 Natal-RN  
E-mail: jsa@ufrnet.br

### **RESUMO**

O valor do ângulo de contato entre um determinado líquido e uma superfície sólida é muito importante para vários campos de pesquisa. Este valor determina a capacidade de molhamento do líquido nesta superfície. Entretanto, a dificuldade do operador calcular manualmente esta grandeza com precisão e reprodutibilidade, gera a necessidade do desenvolvimento de programas computacionais para automatizarem o processo. Estes sistemas possibilitam ao operador do processo, a realização de uma análise com maior quantidade de informações em uma unidade menor de tempo, garantindo uma melhor resolução na análise e reprodutibilidade do processo. Dentre estes, os programas computacionais de tratamento de imagem são amplamente usados em laboratórios nas mais diversas áreas de atuação.

Neste trabalho é desenvolvido um sistema computacional para o cálculo do ângulo de contato, utilizando a linguagem de programação Delphi. O uso do sistema consiste em calcular automaticamente o ângulo de contato através da diferença de tonalidade entre os pixels do líquido e os pixels da superfície a partir de imagens capturadas por uma câmera digital. O sistema permite ainda efetuar o cálculo da área da gota ou até mesmo a diferença entre a área de várias gotas sobre uma mesma superfície sólida.

**PALAVRAS-CHAVE:** programa computacional, tratamento de imagem, ângulo de contato, automação.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento de novas técnicas de modificação de superfícies, ampliou-se o uso de materiais para os mais diversos setores industriais. Dentre esses setores, destacam-se os setores têxtil e biomédico, pela grande contribuição que essas técnicas trazem na obtenção de propriedades superficiais como a molhabilidade, a biocompatibilidade, entre outras (Jan-bo, 2005).

Todas essas propriedades físico-químico-biológicas estão sempre relacionadas com medidas do ângulo de contato entre a superfície do material modificado e o líquido onde o sólido irá trabalhar. Desse modo, medidas do ângulo de contato têm sido amplamente usadas para monitorar propriedades superficiais, tais como molhabilidade, tensão superficial crítica, componentes dispersivas e polares da energia superficial (KWOK *et al.*, 1998).

Conhecendo a tensão superficial do líquido pode-se avaliar características qualitativas e quantitativas da superfície do sólido. O líquido age como uma sonda sensível da superfície pela interação dos grupos funcionais da superfície ou fisicamente com a aspereza da superfície. Esta interação característica altamente sensível entre o líquido e o sólido faz com que o ângulo de contato seja uma técnica de caracterização superficial extremamente valiosa. Esse método é provavelmente o mais comum para medir a tensão superficial de sólidos (MOORHEAD, 2003).

Quando um líquido é gotejado sobre uma superfície na qual se deseja determinar a tensão superficial, existirá uma relação entre as tensões interfaciais das três fases presentes, líquido, sólido e vapor, dada através da equação de Young-Dupré:

$$\gamma_{lv} \cos \theta = \gamma_{sv} - \gamma_{sl} \quad (1)$$

Onde  $\gamma_{lv}$ ,  $\gamma_{sv}$  e  $\gamma_{sl}$  são respectivamente, a tensão interfacial entre líquido-vapor, sólido-vapor e sólido-líquido; e  $\theta$  é o ângulo de contato de Young-Dupré (Figura 1) (KWOK *et al.*, 1998).

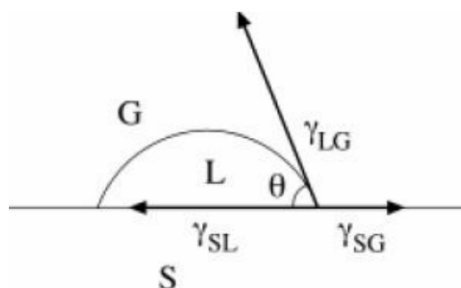


Figura 1: Fases da tensão superficial num sistema sólido-líquido-gás.

Essas gotas podem se comportar entre dois extremos: espalhar-se sobre a superfície em contato ou minimizar o contato com a superfície, isso dependerá das forças intermoleculares que se estabelecem entre as fases. Se o líquido for polar e a superfície em que o líquido está em contato for polar, ocorrerão interações fortes entre as moléculas do líquido e os grupos também polares da superfície, e assim molhando a superfície. Mas, se o líquido for apolar e a superfície em contato for polar, não ocorrerão interações fortes entre as moléculas do líquido e a superfície em contato, como resultado o líquido tenderá atingir o estado de menor energia, ou seja, as moléculas do líquido irão interagir com elas mesmas, diminuindo o contato com a superfície, formando uma gota (Coutinho; Canuto, 1997).

Embora de fácil realização, as medidas são passíveis de muitos erros provocados por variação de umidade e temperatura do ambiente, distância de queda da gota, volume da gota, depósitos de impurezas sobre o material a ser analisado, temperatura do líquido a ser depositado e a pureza dos líquidos que serão utilizados para determinar a tensão superficial do sólido. Além disso, o ponto de tangência na gota não é uma tarefa muito fácil de ser estabelecida.

Nesse sentido foi desenvolvido um programa computacional de medição automática do ângulo de contato através da diferença das tonalidades dos *pixels*. Desse modo, medidas mais precisas de ângulo de contato podem ser obtidas de maneira mais rápida e com maior reprodutibilidade.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Descrição do programa computacional

O programa computacional foi desenvolvido usando a linguagem de programação Delphi, que é um ambiente de desenvolvimento de projetos orientado a objeto. Esse programa possui a função de calcular o ângulo de contato entre um líquido e uma superfície. Para tanto, o programa utiliza uma técnica de tratamento de imagem onde diferencia a gota do resto da imagem e em seguida aplica as equações necessárias para alcançar o resultado esperado. (Figura 2).

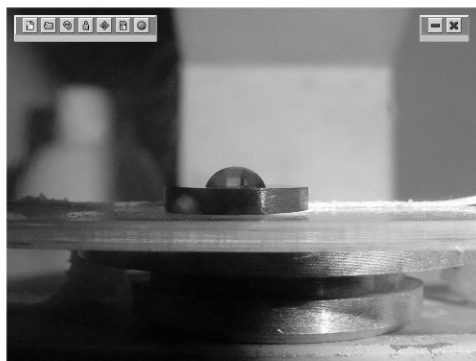


Figura 2: Programa de computacional.

O uso do programa é bastante simples, o usuário deve inicialmente escolher a imagem a ser tratada. Em seguida, utilizando a opção “demarcar cores”, o usuário deve marcar a maior área possível no interior da gota a fim de armazenar todas as tonalidades do líquido na paleta de cores do programa. Este procedimento pode ser repetido várias vezes para que um maior número de cores possa ser armazenado (Figura 3).

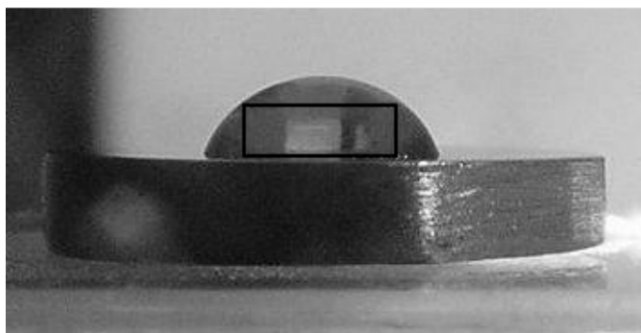


Figura 3: Demarcação da área para aquisição de cores.

Feito isso, o usuário deve adicionar as cores no banco de dados do programa através da opção “adicionar cores”. Nesse momento, o programa irá percorrer toda a área demarcada *pixel a pixel*, adicionando ao banco de dados a cor correspondente a cada *pixel* analisado. Caso um *pixel* possua uma cor que já existente no banco de dados, a mesma será ignorada e o programa passará para o *pixel* seguinte. Ao final do processo, as cores armazenadas no banco de dados serão demonstradas em uma paleta de cores no lado esquerdo da tela (Figura 4).

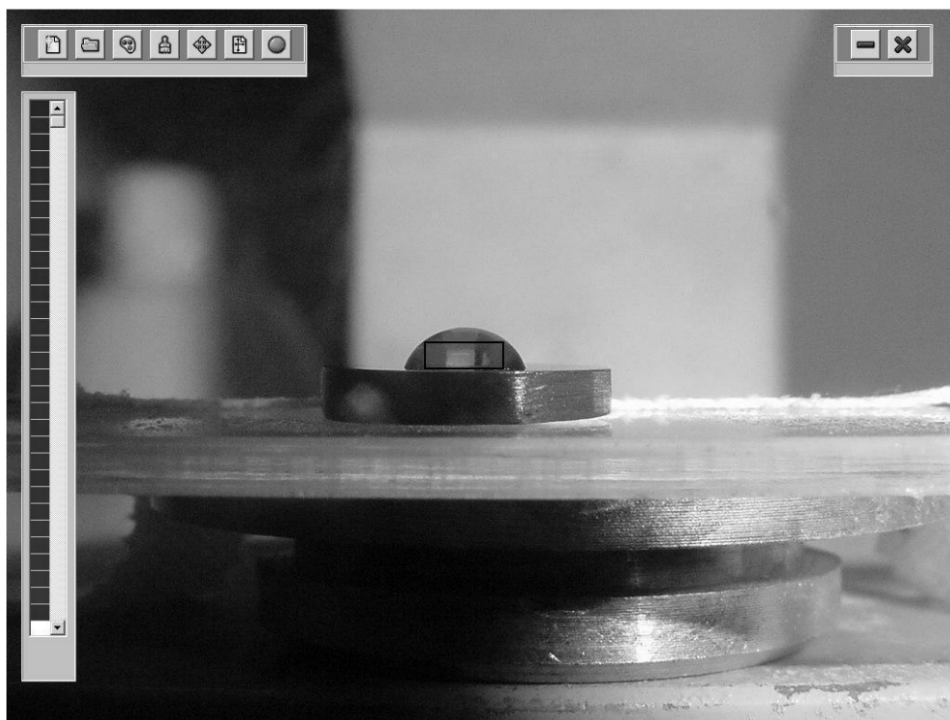


Figura 4: Armazenamento de cores no banco de dados.

Após armazenar as cores, o usuário deve demarcar a área o em que o programa vai identificar o líquido e posteriormente calcular o ângulo de contato. Este procedimento é bastante útil, pois sem ele o programa iria procurar o líquido em toda a imagem, aumentando bastante o tempo do processo de identificação do mesmo.

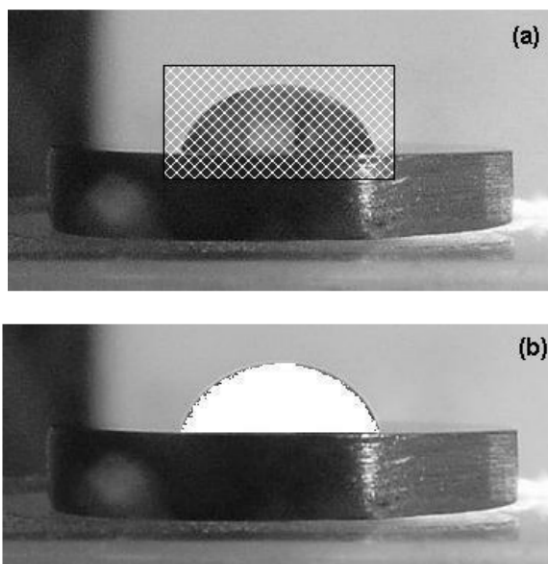


Figura 5: (a) Demarcação da área para identificação do líquido. (b) Líquido identificado.

Baseado na literatura existente buscou-se desenvolver uma maneira onde a medida do ângulo de contato fosse estimada a partir de uma relação matemática envolvendo parâmetros geométricos de fácil medida, tendo como princípio o esquema mostrado na figura 6.

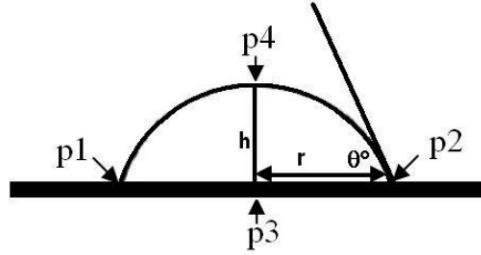


Figura 6: Esquema do ângulo de contato

Partindo desta afirmação, desenvolveu-se uma maneira de calcular o ângulo de contato apenas com as coordenadas dos quatro pontos mostrados na figura 6.

$$\theta = \sin^{-1} \left[ \frac{(p2 - p1)(p3 - p4)}{\left( \frac{p2 - p1}{2} \right)^2 + (p3 - p4)^2} \right] \quad (2)$$

Onde “p1” é a coordenada do primeiro *pixel* da base da gota, “p2” é a coordenado do último *pixel* da base da gota, p3 é a coordenada do *pixel* médio da base da gota e p4 é coordenada do *pixel* médio do limite superior da gota.

## 2.2 Realização dos experimentos

Neste trabalho foram utilizadas imagens capturadas a partir de uma micro-câmera de vídeo CCD digital. A mesma está conectada ao microcomputador através da porta USB e é controlada através de um programa comercial de captura de imagem. Para os casos onde houver necessidade de maior contraste nos contornos da gota, foi acoplada uma fonte de luz difusora com ajuste de luminosidade, podendo ser posicionada em qualquer ângulo com relação à micro-câmera.

Fez-se necessário o uso de dois líquidos de colorações diferentes, assim pode-se analisar como se comportou a técnica desenvolvida neste trabalho em imagens bastante distintas (Figura 6).

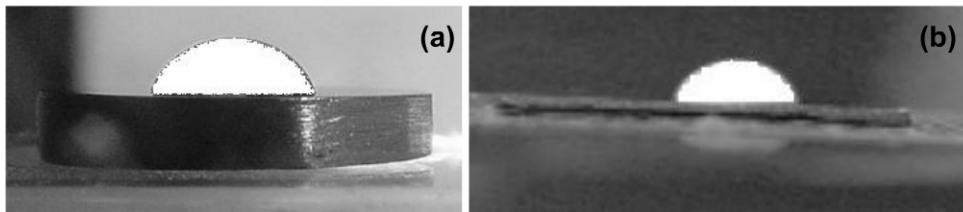


Figura 7: Imagens processados pelo programa.

### 3. CONCLUSÃO

O programa computacional desenvolvido apresentou resultados satisfatórios se comparado àqueles obtidos através de técnicas convencionais. Dentre as suas vantagens pode-se citar que é de fácil operação, possui uma interface amigável além de proporcionar redução no tempo de aquisição do ângulo de contato. Possui, portanto, o que se espera de um sistema automático de medição, consistindo assim em uma etapa fundamental para a geração de bons resultados. Por outro lado, a escolha inadequada na área de aquisição de cores pode levar ao acréscimo ou redução do número de *pixels* da gota e, conseqüentemente, no cálculo incorreto do ângulo de contato.

### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Coutinho, K. ; Canuto, S. **Solvent effects from a sequential Monte Carlo-quantum mechanical approach.** Advances in Quantum Chem. 28, p. 89, 1997.

Jan-bo H. **Effecty of plasma treatment on hydrophilic propeties of TiO<sub>2</sub> thin films.** Surface & coatings technology, 2005.

Kwok, D.Y. *et al.* **Measuring and interpreting contact angles: a complex issue,** Colloids and Surfaces A: Physicochemical and engeneering aspects, 142, p. 219-35, 1998.

Moorhead, A.J.; Keating, H. **Wetting of tin-based active solder on sialon ceramic,** Welding J., 65, 1986.