



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA

ENOQUE DE SOUSA BARBOSA

**CONSTRUÇÃO DE UM APARATO DE BAIXO CUSTO PARA MEDIR ÂNGULO DE
CONTATO**

Macapá – Amapá
2017

ENOQUE DE SOUSA BARBOSA

**CONSTRUÇÃO DE UM APARATO DE BAIXO CUSTO PARA MEDIR ÂNGULO DE
CONTATO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado para obtenção do Diploma de
Graduação em Física Licenciatura, à
Universidade Federal do Amapá.

Área de Concentração: Instrumentação No
Ensino de Física.

Orientador: Professor Doutor Victor
Montero Del Águila.

**Macapá – Amapá
2017**

ENOQUE DE SOUSA BARBOSA

**CONSTRUÇÃO DE UM APARATO DE BAIXO CUSTO PARA MEDIR ÂNGULO DE
CONTATO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito para obtenção do título de Licenciado em Física da Universidade Federal do Amapá-UNIFAP, submetida à aprovação da banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Victor Montero Del Águila

Prof. Dr. Robert Ronald Maguiña Zamora

Prof. Dr. Yony Walter Milla González

Macapá – Amapá, Abril de 2017.

AGRADECIMENTOS

Ao Deus Todo Poderoso por dar-me forças, saúde, incentivos pondo pessoas ao longo deste caminho para ajudar-me a conquistar mais essa etapa da minha vida.

À minha família amada nas pessoas do meu pai Marcírio Vaz Barbosa Filho e da minha mãe Edina Regina F. de Sousa Barbosa que apoiaram e incentivaram esta jornada dando carinho e compreensão ao longo desses anos.

Ao prof. Dr. Victor Montero Del Águila pela orientação e direção neste trabalho e ter proporcionado a mim aprendizado ao longo do curso.

Aos professores do colegiado do curso de física Dr. Robert R. M. Zamora, Dr. Juan D. Bulnes, Dr. Yony Walter Milla González, Ms. Robert Saraiva Matos, Dr. Rafael Martinez, Dr. Nilson dos Santos, e a Esp. Maria Zenaide de Araújo que fizeram parte de minha formação e repassaram-me o devido conhecimento para trilhar meu futuro profissional.

Ao professor Cleber Deo Castilho Carvalho que me ajudou com problemas de cálculos e a professora Rafaela Gomes de Souza umas das que sempre me incentivaram a nunca desistir.

Aos amigos e colegas, Marcelo Amanajás, Walberti Pantoja, Yuri Moraes, Brenno Lorrán, Julian Pantoja, Paézio Augusto, Valeria Castelo, Cassia Picanço, Nayara Alves, e aos demais pelo companheirismo nos grupos de estudos.

À minha companheira e amada Raquel Cardoso que esteve comigo nos momentos mais difíceis dando-me apoio nesta jornada, e a todos que conheci durante este trajeto.

CONSTRUÇÃO DE UM APARATO DE BAIXO CUSTO PARA MEDIR ÂNGULO DE CONTATO

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo construir um aparato de baixo custo capaz de medir ângulo de contato, pois, a área de superfície vem ganhando cada vez mais espaço e despertando mais interesse pelas multinacionais, contudo, um aparato capaz de medir ângulo de contato tem um custo alto e nem todos podem adquirir um aparato deste, com isso veio a pergunta, como construir um aparato de baixo custo capaz de medir ângulo de contato? Sendo o objetivo principal medir ângulo de contato entre superfícies. Para a construção do mesmo utilizou-se material de sucata como também alguns outros artigos de armarinho e peças como tarraxa de violão. Após a construção coletou-se os dados e de forma quantitativa utilizando-se da estatística, encontrou-se os valores dos ângulos de contato. O aparato mostrou-se capaz de realizar medidas de ângulos de contato onde os valores obtidos neste trabalho foram de $45,3^\circ \pm 0,9^\circ$ e $45,2^\circ \pm 1,5^\circ$ entre água e vidro, $158,5^\circ \pm 0,3^\circ$ e $157,6^\circ \pm 0,9^\circ$ entre a água e a *Thalia Genticulata* e $167,8^\circ \pm 1,4^\circ$ e $160,4^\circ \pm 4^\circ$ entre a água e a planta *Colocasia Antiquorum Schott* para (tajá).

Palavras Chave: Ângulo de Contato, Superhidrofóbico, Aparato de Baixo Custo.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Condições de molhabilidade de uma superfície: a) superfície superhidrofílica $\theta=0$ grau; b) superfície com molhabilidade parcial $150 \text{ graus} > \theta > 10 \text{ graus}$ e c) superfície superhidrofóbica $\theta=180 \text{ graus}$	- 3 -
Figura 1.2: Definição do ângulo de contato e tensões superficiais presentes na equação de Young.....	- 4 -
Figura 1.3: Ilustra os trabalhos de coesão de moléculas. Se a fase 1 possuir a mesma constituição da fase 2, ter-se-á coesão, caso essas fases sejam distintas, ter-se-á adesão.....	- 5 -
Figura 1.4: Nano-Tex ®, um tecido nanoestruturado que apresenta o efeito Lótus.....	- 7 -
Figura 1.5: Foto da folha <i>Colocasia Antiquorum</i> Schott para (tajá), planta comum em áreas de ressacas. É perceptível que a gota de água carrega algumas partículas de poeira.....	- 8 -
Figura 1.6: Triângulo de Sierpinski.....	- 9 -
Figura 1.7: Definição dos ângulos utilizados na determinação da histerese de ângulo de contato: a) ângulo de avanço (θ_A); b) ângulo de recuo (θ_R).....	- 10 -
Figura 1.8: Geometria utilizada para associação entre histerese de ângulo de contato e o ângulo de inclinação (α).....	- 10 -
Figura 2.1: Uma tarraxa de violão com uma abertura feita por uma serra de ferro.....	- 13 -
Figura 2.2: A placa de alumínio B foi presa com cola quente na abertura da tarraxa.....	- 13 -
Figura 2.3: Placa de alumínio A presa com supercola ao microscópio.....	- 14 -
Figura 2.4: Placa de alumínio B que está presa à uma tarraxa, sendo que esta, por sua vez está presa à placa de alumínio A.....	- 14 -
Figura 2.5: Lanterna presa com fita adesiva na parte que fica as lentes oculares.....	- 15 -
Figura 2.6: A amostra é o vidro, no entanto, em seu lugar pode-se pôr outras que queira-se medir o ângulo.....	- 15 -
Figura 2.7: Construção do aparato finalizado. A figura (a) mostra o aparato de perfil e a figura (b) mostra o aparato de lado.....	- 16 -
Figura 3.1: Imagem da medida do ângulo de contato entre a água e o vidro de uma gota despejada com a seringa de insulina, com o reflexo do vidro na parte de cima. Nesta imagem o ângulo obtido foi de $44,8^\circ$	- 17 -
Figura 3.2: Imagem da medida do ângulo de contato entre a água e o vidro de uma gota despejada pela microseringa, com o reflexo do vidro na parte de cima. Nesta imagem o ângulo obtido foi de $45,3^\circ$	- 19 -

Figura 3.3: Imagens das medidas dos ângulos de contato entre a água e a *Thalia Genuiculata*: (a) gota despejada pela microseringa onde o ângulo obtido foi de $158,5^\circ$. (b) gota despejada pela seringa de insulina onde o ângulo obtido foi de $156,7^\circ$- 21 -

Figura 3.2: Imagens das medidas dos ângulos de contato entre a água e a *Colocasia Antiquorum Schottpara*, (a) imagem da gota da seringa de insulina e o ângulo medido foi de $160,2^\circ$; (b) imagem da gota da microseringa e o ângulo medido foi de $170,3^\circ$- 23 -

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Nesta tabela estão os resultados referentes aos ângulos de contato obtidos entre a água e vidro (seringa de insulina).....	- 18 -
Tabela 2 - Nesta tabela estão os resultados referentes aos ângulos de contatos obtidos entre a água e vidro (microseringa).....	- 18 -
Tabela 3 - Nesta tabela estão os resultados referentes aos ângulos de contato obtidos entre a água e a <i>Thalia Genuiculata</i> (seringa de insulina).....	- 20 -
Tabela 4 - Nesta tabela estão os resultados referentes aos ângulos de contatos obtidos entre a água e a <i>Thalia Genuiculata</i> (microseringa).....	- 20 -
Tabela 5 - Nesta tabela estão os resultados referentes aos ângulos de contatos obtidos entre a água e a <i>Colocasia Antiquorum</i> Schottpara (seringa de insulina).....	- 22 -
Tabela 6 - Nesta tabela estão os resultados referentes aos ângulos de contatos obtidos entre a água e a <i>Colocasia Antiquorum</i> Schottpara (microseringa).....	- 23 -
Tabela 7 – Nesta tabela estão os resultados referentes aos ângulos de contato obtidos..	- 25 -

LISTA DE ABREVIATURAS (LISTA DE SÍMBOLOS)

θ	Ângulo de Contato
γ	Tensão Interfacial
Co. Ltda	Companhia Limitada
R\$	Reais
IES	Instituição de Ensino Superior
v	Volts
μl	Microlitros
mpx	Megapixel
séc.	Século
γ_0	Tensão Superficial
W_C	Trabalho de Coesão
W_A	Trabalho de Adesão
μ_i	Potencial Químico da Espécie i
Γ_i	Adsorção de Espécie i
W_I	Energia de Ionização
W_H	Energia de Ligação de Hidrogênio
W_D	Energia de Dispersão
γ_{LV}	Tensão Interfacial Líquido-Vapor
γ_{SV}	Tensão Interfacial Sólido-Vapor
γ_{SL}	Tensão Interfacial Sólido-Líquido
$\delta\theta$	Histerese de Ângulo de Contato da Superfície
θ_A	Ângulo de Avanço
θ_R	Ângulo de Recuo
B	Placa de Alumínio B na qual Será Posto a Amostra
A	Placa de Alumínio A que Será Presa ao Microscópio
α	Ângulo de Deslizamento
V	Energia Potencial
a	Polarizabilidade
I	Primeira Energia de Ionização da Molécula
r	Distância Entre as Moléculas
I_X	Primeira Energia de Ionização de X
I_Y	Primeira Energia de Ionização de Y
a_X	A Polarizabilidade de X

a_Y A Polarizabilidade de Y
 r_{XY} Distância Entre X e Y

SUMÁRIO

RESUMO	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABELAS.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS (LISTA DE SÍMBOLOS).....	viii
INTRODUÇÃO	1
1 FUNDAMENTO TEÓRICO	3
1.1 Energias de Superfícies	4
1.2 Superfícies Superhidrofóbicas	8
1.3 Histerese de Ângulo de Contato.....	10
2 CONSTRUÇÃO DO APARATO	13
2.1 Aquisição e Limpeza do Material.....	13
2.2 Montagem do Aparato	14
3 METODOLOGIA E DISCUSSÃO	19
3.1 Outros Dados	22
3.1.1 Thalia Genuiculata	22
3.1.2 Colocasia Antiquorum Schottpara.....	24
3.2 Vantagens e Desvantagens do Aparato.....	26
4 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	28
REFERÊNCIAS.....	30
ANEXOS	32

INTRODUÇÃO

Falando-se em superfícies e suas propriedades, não se pode deixar de mencionar a sua molhabilidade (que está relacionada ao quanto um líquido pode espalha-se sobre uma superfície) e que os estudos relacionados à mesma podem englobar um conjunto de conceitos ligados a quase todo ramo da física, sem falar nas inúmeras aplicações, como por exemplo no caso da agroindústria que estuda como se obter uma melhor molhabilidade de uma certa superfície no sentido de que quando ocorra a pulverização na lavoura não haja áreas que não recebam cobertura suficiente de calda, para que assim as pragas não possam alojar-se nessas áreas, onde aqui elas andariam e alimentar-se-iam, pois, os produtos fitossanitários não fariam efeito já que os mesmos não foram absorvidos nestas áreas, dito de outra forma as áreas não foram molhadas pela calda fazendo com que a lavoura esteja desprotegida. Essa molhabilidade é definida através de um ângulo (θ) conhecido como ângulo de contato, que dependendo do valor desse ângulo pode-se caracterizar a superfície como liofóbica ou liofílica no caso do líquido ser a água é caracterizado como hidrofóbica ou hidrofílica. (FERREIRA, 2003; DORING et al., 2013)

Os primeiros modelos utilizados para o estudo da superhidrofobicidade de superfícies surgiram na primeira metade do Séc. XX a partir dos trabalhos de Wenzel, Cassie e Baxter. Contudo foi graças à dois trabalhos importantíssimos que se alavancou o estudo pelas superfícies hidrofóbicas e hidrofílicas. Um de Onda et. al. publicado em 1996, onde este dizia que a superhidrofobicidade estava relacionada à existência de estruturas fractais e o outro é de Barthlott e Neinhuis que descrevera a característica superhidrofóbica da flor de lótus, chamando assim o interesse pelo assunto e principalmente o interesse de grupos de empresas privadas como Toyota, Nissan Motor CO LTDA, Toshiba KK, Sony Corporation, Fuji Film, entre outras, sendo que esses grupos são proprietários da maior parte de patentes referentes ao assunto. (Burkarter, 2010; Ferreira, 2013)

Para encontrar o ângulo de contato é necessário um aparato para medi-lo, esse aparato é conhecido como goniômetro, contudo, o custo de um equipamento capaz de fazer essa medida custa em torno de 20.000,00 R\$ (vinte mil reais) (anexo 1). Com

isso ocorreu a problemática de “Como fazer um aparato de baixo custo capaz de medir ângulo de contato? ”.

Traz-se uma solução para a problemática, onde se tem como objetivo principal construir um aparato de baixo custo capaz de medir ângulo de contato, para então dizer se a superfície é hidrofóbica ou hidrofílica, pois, o custo e manutenção dele é baixo, onde a maioria do material utilizado para a sua montagem é de sucata e qualquer pessoa pode estar reproduzindo-o, sendo assim, um pesquisador mais experiente ou um pesquisador amador podem ter um equipamento para avançar seus trabalhos. Como objetivos secundários pode-se promover uma possível introdução e/ou despertar interesse referente à área da física de superfícies como os conceitos relativos ao ângulo de contato, a matemática dos fractais e ainda o uso de software como auxílios em aulas de física, estes podem ser explorados por qualquer pessoa que queira trabalhar com física de superfícies tanto nos laboratórios de graduação em física como também nos laboratórios de física do ensino médio.

O presente trabalho é dividido em: *revisão bibliográfica* onde buscou-se aprofundar os conceitos sobre ângulo de contato, tensão superficial, superfície hidrofóbica, superfície hidrofílica, histerese do ângulo de contato; *pesquisa de campo* ao falar-se da aquisição do material para a montagem do aparato; *montagem do aparato*; *coleta de dados com o utilização do aparato* para comparação com valores já obtidos por goniômetros profissionais para então verificar a confiabilidade do presente trabalho; *Resultados obtidos* e a *Conclusão*.

No Capítulo 1 é feita uma breve história dos estudos relacionados a superhidrofobicidade como também uma apresentação dos conceitos ligados ao estudo da mesma.

No Capítulo 2 mostra-se a construção do aparato expondo os pontos mais relevantes, desde a aquisição dos materiais até a construção.

No Capítulo 3 apresenta-se os resultados obtidos e uma breve discussão sobre os referidos.

No Capítulo 4 faz-se a conclusão sugerindo algumas melhorias para o aparato como também possíveis pesquisas utilizando o mesmo.

1 FUNDAMENTO TEÓRICO

Podemos definir a molhabilidade de uma superfície como uma medida do quanto o líquido pode espalhar-se sobre ela ou do quanto líquido fica retido em uma superfície, pois, dependendo da estrutura da superfície a mesma não é molhável e sim apenas retém o líquido. Esse espalhamento é definido por um parâmetro chamado ângulo de contato (θ), que é medido entre a linha que tangência a gota nas imediações da superfície e a linha horizontal onde a superfícies se encontra, como mostra a Figura 1.1. No caso da água, classifica-se as superfícies como hidrofóbicas quando o ângulo de contato é maior que 90 graus e hidrofílicas quando o ângulo de contato é menor que 90 graus. Há também casos extremos mostrados na Figura 1.1, quando o ângulo de contato é superior a 150° (cento e cinquenta graus) a superfície é chamada superhidrofóbica e quando este ângulo é menor que 10° (dez graus) a superfície é chamada superhidrofílica. Outro parâmetro associado a caracterização da molhabilidade é a histerese de ângulo de contato, que está associada a facilidade ou dificuldade de uma gota deslizar (ou rolar) para fora de uma superfície. As superfícies superhidrofóbicas possuem baixa histerese de ângulo de contato, isso quer dizer que a água desliza com maior facilidade sobre elas. (Burkarter, 2006; Burkarter, 2010; Ferreira, 2013)

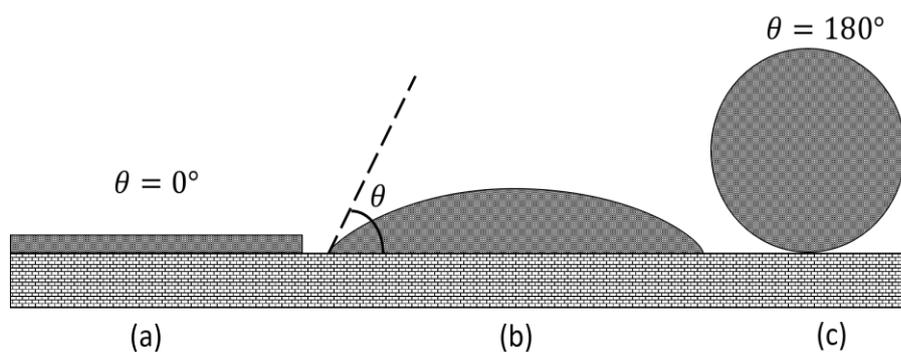


Figura 1.1: Condições de molhabilidade de uma superfície: **a)** superfície superhidrofílica $\theta = 0$ grau; **b)** superfície com molhabilidade parcial $150 \text{ graus} > \theta > 10 \text{ graus}$ e **c)** superfície superhidrofóbica $\theta = 180$ graus.

Fonte: Próprio autor adaptada de Burkarter.

Os estudos ligados à molhabilidade de superfícies iniciaram-se por volta do séc. XIX. Pois, em 1805, Thomas Young obteve uma equação que associa parâmetros no efeito de interação entre sólido e líquido em um estudo com base na ideia de equilíbrio

de forças. Essa equação ficou conhecida como Equação de Young mostrada na expressão (1.1), relacionando o ângulo de contato (θ) entre um líquido e uma superfície sólida através das tensões interfaciais líquido-vapor (γ_{LV}), sólido-vapor (γ_{SV}) e sólido-líquido (γ_{SL}). Mais tarde Gauss introduziu o conceito de balanço de energia de superfície aplicado ao fenômeno da capilaridade em 1830, mas foi em 1880 que a Equação de Young ganhou uma base matemática mais sólida graças aos trabalhos de Gibbs relacionados à termodinâmica. (Burkarter, 2010)

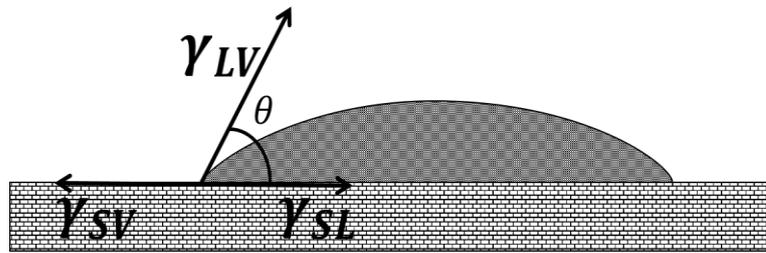


Figura 1.2: Definição do ângulo de contato e tensões superficiais presentes na equação de Young.

Fonte: Próprio autor adaptada de Burkarter.

$$\gamma_{LV} \cos \theta = \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad (1.1)$$

Os trabalhos de Willard Gibbs, em 1880, indicaram que a tensão superficial resulta de uma energia livre para realização de trabalho sobre as vizinhanças, que pode ser associada aos átomos da superfície. Assim para uma melhor compreensão dos fenômenos que estão ligados à molhabilidade, serão apresentados na próxima seção as energias de superfícies, as superfícies superhidrofóbicas e a histerese de ângulo de contato.

1.1 Energias de Superfícies

Segundo Lima et al. a atração mútua entre as moléculas da mesma substância é conhecida como energia de coesão, resultado de ligações químicas diversas. A adesão é a interação mútua exercida por moléculas em duas fases distintas.

Para um líquido puro, o trabalho de coesão (W_c) é dado pela expressão da Equação (1.2).

$$W_c = 2\gamma_0 \quad (1.2)$$

Sendo γ_0 a tensão superficial.

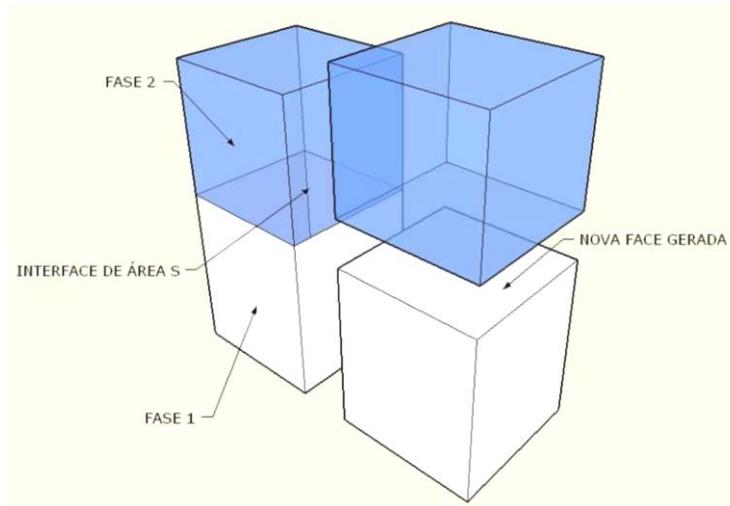


Figura 1.3: Ilustra os trabalhos de coesão de moléculas. Se a fase 1 possuir a mesma constituição da fase 2, ter-se-á coesão, caso essas fases sejam distintas, ter-se-á adesão.

Fonte: Lima et al. (2007).

Para um líquido que contém um componente de superfície ativa, o trabalho para criar as duas superfícies novas é igual à variação da energia livre interfacial, dada pela Equação (1.3).

$$W_c = 2(\gamma_0 + \mu_i \Gamma_i) = 2\gamma \quad (1.3)$$

Onde:

μ_i é o potencial químico da espécie i ;

Γ_i é a adsorção de espécie i ;

γ é a tensão interfacial.

No caso da interface gerada ser do tipo líquido/vapor, a interface na maioria das vezes se diz superfície e a energia é referida como energia superficial (específica, em J/m^2) ou tensão superficial (γ_0), com isso, pode-se dizer que a energia livre superficial é o trabalho necessário para aumentar a superfície em uma unidade de área por um processo isotérmico e reversível. O conceito de energia de superfície pode

ser mais facilmente compreendido usando um líquido como exemplo. Átomos e moléculas do líquido podem se mover livremente procurando ocupar uma posição de menor energia potencial. Ou seja, um lugar onde as forças (atrativas e repulsivas), agindo em todas as direções, estejam em equilíbrio. As partículas na superfície de um material, entretanto, experimentam apenas forças dirigidas para dentro do líquido. Esse comportamento faz com que a superfície do líquido-vapor esteja sob tensão, a tensão superficial do líquido (γ_0).

O W_A é definido como o trabalho requerido para remover o líquido da superfície sólida. Consiste de três componentes, conforme mostrado na equação de Dupré (1.4).

$$W_A = W_I + W_H + W_D \quad (1.4)$$

Sendo:

W_I é a energia de ionização, proveniente de forças atrativas colombianas na superfície sólida. A energia de ionização, também conhecida como potencial de ionização, é a energia mínima necessária para "arrancar" um elétron de um átomo isolado e no estado gasoso;

W_H é a energia de ligação de hidrogênio, proveniente de forças coordenadas, interação de dipolo do líquido com a superfície sólida. A Ligação de Hidrogênio é uma interação entre átomos de hidrogênio de uma molécula com átomos de elementos altamente eletronegativos (oxigênio, flúor e nitrogênio) de forma que o hidrogênio sirva como "elo" entre os átomos com os quais interage;

W_D é a energia de dispersão, proveniente da interação do líquido com dipolos induzidos na superfície do sólido (interações de London-van der Waals). Uma molécula possui regiões onde a diferença de eletronegatividade entre átomos ligantes desloca a nuvem eletrônica para um deles. Isso significa que o par de elétrons compartilhado estará na maior parte do tempo ao redor do mais eletronegativo, essas regiões podem ser caracterizadas por uma parte positiva (onde a nuvem eletrônica é menos densa) e uma negativa (onde é mais densa).

De um modo geral, a intensidade das forças de dispersão de London é proporcional ao número de elétrons e ao tamanho das moléculas e diminuem (no caso de isômeros) com o aumento de ramificação da cadeia. No caso de a ligação se fazer entre moléculas iguais, a expressão da energia potencial é a seguinte:

$$V = -\frac{3}{4} \frac{a^2 I}{r^6} \quad (1.5)$$

Onde:

a é a polarizabilidade;

I é a primeira energia de ionização da molécula;

r é a distância entre as moléculas.

Caso a ligação ocorra entre moléculas diferentes, X e Y, a energia potencial é dada pela equação abaixo, que é a equação de London:

$$V = -\frac{3}{2} \frac{I_X I_Y}{I_X + I_Y} \frac{a_X a_Y}{r_{XY}^6} \quad (1.6)$$

Onde:

I_X e I_Y são as primeiras energias de ionização de X e Y, respectivamente;

a_X e a_Y são as polarizabilidades de X e Y, respectivamente;

r_{XY} é a distância entre X e Y

O trabalho de adesão está relacionado à área interfacial unitária, que é igual à soma das energias superficiais unitárias menos a energia interfacial, como mostrado na equação de Dupré (1.5).

$$W_A = \gamma_{LV} + \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad (1.7)$$

Onde:

γ_{LV} é a energia da interface líquido-vapor;

γ_{SV} é a energia da interface sólido-vapor;

γ_{SL} é a energia da interface sólido-líquido.

Substituindo a equação (1.1) em (1.5), encontra-se o trabalho em função do ângulo de contato que é a equação de Young-Dupré:

$$W_A = \gamma_{LV}(1 + \cos \theta) \quad (1.8)$$

De acordo com a equação (1.6), pode-se obter o trabalho de adesão através de duas grandezas que são o ângulo de contato e a tensão superficial.

1.2 Superfícies Superhidrofóbicas

A maioria das superfícies são hidrofílicas, possuindo elevada afinidade com a água, isso é devido ao fato de que a maioria das superfícies são substâncias químicas polares, já superfícies como carvão e enxofre são apolares, com isso as mesmas não têm afinidade com água e sim com o ar. (Lima et al., 2007)

Se a força de adesão for superior à de coesão, o líquido vai interagir favoravelmente com a superfície sólida, molhando-a. O inverso também acontece, se a força de adesão for inferior à de coesão, o líquido não interage favoravelmente com o sólido fazendo com que a superfície não molhe. O primeiro estágio, na reação molecular, entre a água e a superfície é a molhabilidade da superfície pela água, que ocorre no limite das três fases (sólido, líquido e vapor). (Lima et al., 2007; Burkarter, 2010; Oliveira et al.)

A molhabilidade de uma superfície é definida pelo ângulo de contato, que por sua vez é relacionado às tensões interfaciais por meio da equação de Young. Superfícies com ângulos de contato superiores a 150° (cento e cinquenta graus) e baixa histerese, como mostrada na Figura 1.4, são chamadas de superhidrofóbicas e suas aplicações são amplas como os revestimentos ambientais, as células solares autolimpantes, o Nano-Tex, entre outros. (Burkarter, 2010; OLHARNANO).



Figura 1.4: Nano-Tex[®], um tecido nanoestruturado que apresenta o efeito Lótus.

Fonte: Olharnano.

Na Figura 1.5 tem-se uma fotografia da folha *Colocasia Antiquorum* Schottpara, é notório que a superfície desta folha está limpa. Em superfícies superhidrofóbicas também é perceptível esse efeito, isso ocorre devido ao caráter dessas superfícies, pois, as gotas escorrem pela folha, levando consigo qualquer grão de poeira que esteja pelo caminho. Com base nisso podemos supor que superfície da folha *Colocasia Antiquorum* Schottpara é hidrofóbica, contudo, só teremos a certeza após analisarmos o ângulo de contato entre esta superfície e a água.

O trabalho de Onda et. Al., publicado em 1997 teve grande relevância, pois, segundo os autores a presença de estruturas de característica fractal na superfície foi o grande responsável pelo resultado obtido pelo grupo, um ângulo de contato chegando à 174° .



Figura 1.5: Foto da folha *Colocasia Antiquorum* Schottpara (tajá), planta comum em áreas de ressacas. É perceptível que a gota de água carrega algumas partículas de poeira.

Fonte: Próprio autor.

Benoit Mandelburg em 1975, introduziu o fractal que está ligado às figuras geométricas que podem ser divididas em partes cada vez menores, sendo que cada uma dessas partes é semelhante a uma parte maior, como indica a Figura 1.6. Os fractais geralmente são figuras de grande complexidade, com detalhes que se multiplicam em suas partes mais ínfimas, os mesmos possuem algumas características fundamentais que os destacam de outras geometrias, tais como: **auto-similaridade** (se manifesta com a repetição, em escalas cada vez menores, das

estruturas presentes no material), **simplicidade da lei de formação** (o alto grau de detalhamento e a complexidade da estrutura de um fractal não impedem que sejam formados por processos simples), **dimensão fractal** (é uma quantidade fracionária, representando o grau de ocupação da estrutura no espaço que a contém) e **complexidade infinita** (refere-se ao fato de que o processo de geração de uma figura, definida como sendo um fractal é recursivo, isto significa que, quando se executa um determinado procedimento, no decorrer da mesma encontra-se como sub-procedimento o próprio procedimento anteriormente executado). (Filho, 2010; Burkarter, 2010; Serra, 1997; Assis et al., 2008)

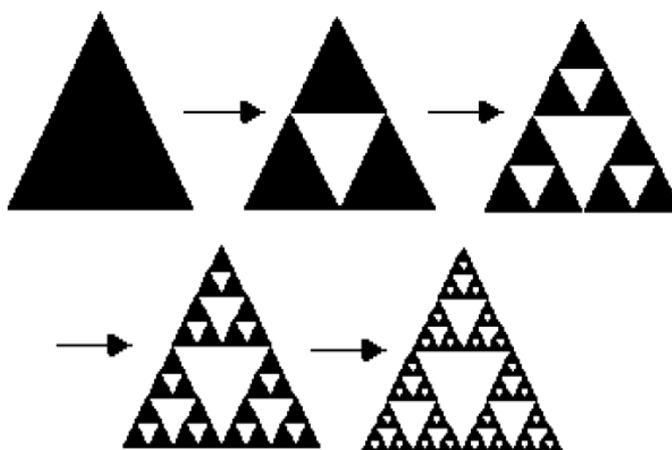


Figura 1.6: Triângulo de Sierpinski

Fonte: Valim et. al.

Segundo Onda et. al., o que leva à superhidrofobicidade é a presença dessas estruturas semelhantes aos fractais (com característica de repetição) em superfícies constituídas de material de baixa energia.

1.3 Histerese de Ângulo de Contato

Um aspecto importante para avaliar a molhabilidade de uma determinada superfície é a histerese do ângulo de contacto. Esta é uma medida da aderência de uma gota à superfície que se obtém através da diferença entre o ângulo de contacto de avanço e o de recuo, enquanto a gota se arranja à superfície, o ângulo de contacto pode assumir um comportamento dinâmico, ou seja, quando o líquido é adicionado, o

ângulo de contato pode aumentar, com isso, chama-se de ângulo de avanço (θ_A). No caso dele retrair-se quando uma porção do líquido é retirada chama-se de ângulo de recuo (θ_R). Ambos os casos estão ilustrados na Figura 1.7. Com base neste conceito ligado aos ângulos de avanço e de recuo, destaca-se uma das técnicas de caracterização em trabalhos na área da molhabilidade e é conhecido como o estudo da chamada histerese de ângulo de contato da superfície ($\delta\theta$). (Burkarter, 2010; Ferreira, 2013)

Onde:

$$\delta\theta = \theta_A - \theta_R \quad (1.9)$$

Há também um parâmetro de classificação da histerese de ângulo de contato conhecido como ângulo de deslizamento. A Figura 1.7 e a equação (1.8) mostram a relação entre o ângulo de deslizamento com os ângulos de avanço e de recuo:

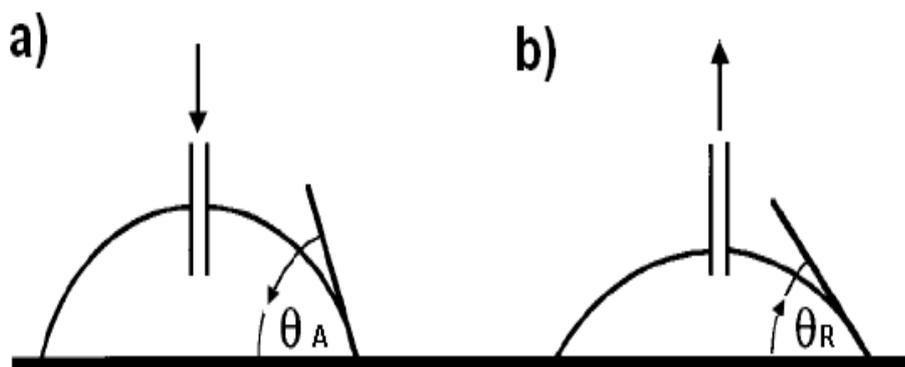


Figura 1.7: Definição dos ângulos utilizados na determinação da histerese de ângulo de contato: a) ângulo de avanço (θ_A); b) ângulo de recuo (θ_R).

Fonte: Burkarter (2010).

$$\sin \alpha = C\gamma_{LV}(\cos \theta_A - \cos \theta_R) \quad (1.10)$$

Sendo $C = w/mg$, onde g é a aceleração da gravidade, m a massa da gota e w é o diâmetro da zona de molhamento. Porém, há dificuldade associada a esta relação, pois a determinação da constante C é feita por métodos empíricos. Para superfícies superhidrofóbicas o valor de $\delta\theta$ é muito pequeno, podendo ser mais um parâmetro de caracterização deste tipo de superfície. (Burkarter, 2010; Ferreira, 2013)

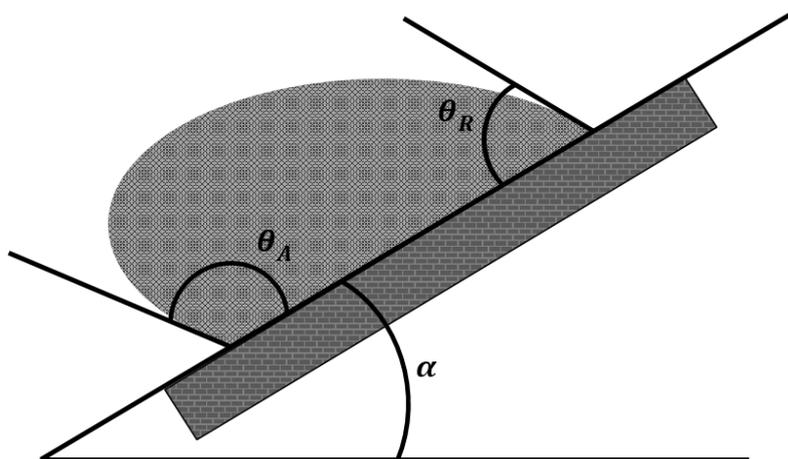


Figura 1.8: Geometria utilizada para associação entre histerese de ângulo de contato e o ângulo de inclinação (α).

Fonte: Próprio autor adaptada de Ferreira (2013).

Muitos trabalhos relacionados ao desenvolvimento de superfícies superhidrofóbicas apresentam medidas do ângulo de deslizamento (α) como argumento para indicar o quão baixa é a histerese de ângulo de contato, pois há dificuldades de medida. Neste caso, considera-se que a histerese de ângulo de contato é baixa quando $\theta_A \approx \theta_R$, ou seja, a gota desliza ou rola sobre a superfície com mais facilidade. Portanto, quanto menor o ângulo de deslizamento (α), menor será a histerese de ângulo de contato. (Burkarter, 2010; Ferreira, 2013)

2 CONSTRUÇÃO DO APARATO

Tem-se como objetivo principal montar um aparato de baixo custo capaz de medir o ângulo de contato entre líquido e superfície. Como objetivos secundários promover uma possível introdução e/ou despertar interesses referentes à área da física de superfícies, introduzir o conceito da matemática dos fractais e o uso de software como auxílios em aulas de física.

Com base nisso levantou-se uma pesquisa sobre o material e optou-se por usar um microscópio, pois o mesmo possui três graus de liberdade possibilitando assim um total controle sobre o foco da amostra e também suas lentes possuem um poder de aumento da imagem de 50 (cinquenta) até 1500 (mil e quinhentos) vezes.

A construção do aparato divide-se em três partes, aquisição do material, limpeza e então a montagem. A seguir detalhar-se-á a construção do aparato ressaltando os pontos mais importantes, desde a aquisição dos materiais até a montagem.

2.1 Aquisição e Limpeza do Material

Adquiriu-se o microscópio (que é o material com maior custo e, portanto, mais difícil de se encontrar/adquirir) no almoxarifado desta Instituição de Ensino Superior (IES), onde haviam vários e os mesmos estavam prestes a serem jogados fora. No instante, todos os modelos de microscópios foram adquiridos, pois, percebeu-se que algumas peças estavam danificadas pelo tempo e sem condição de uso, assim peças de uns microscópios poderiam ser utilizadas em outros.

A escolha do microscópio utilizado pela presente pesquisa foi o modelo Microscópio Binocular Studar Profissional 220v (duzentos e vinte volts), pois, o mesmo se adequava as nossas necessidades, entre elas uma certa estabilidade, onde o mesmo ficaria deitado sobre a mesa e sua parte elétrica não interessaria aqui, porquê, a iluminação sobre a amostra vem de uma fonte externa.

Foi adquirido uma tarraxa de violão em uma loja de manutenção de violões. O intuito da tarraxa é pôr mais um grau de liberdade no instrumento, com isso é possível ter uma melhor visualização da imagem da gota sobre a superfície para a obtenção do ângulo de contato. A placa de alumínio e o vidro foram adquiridos em uma

vidraçaria (loja de vidros e alumínios) sendo que os mesmos foram doados. E por fim adquiriu-se duas seringas, a seringa de insulina utilizada aqui foi comprada em uma farmácia onde custou menos de 2 R\$ (dois reais) e a microseringa foi comprada pela internet no valor de 190 R\$ (cento e noventa reais).

Após a aquisição dos materiais foi feita a limpeza dos mesmos, onde, o microscópio foi limpo apenas com papel higiênico e água e as peças desgastadas pelo tempo foram trocadas por outras dos outros microscópios adquiridos no almoxarifado. A partir daí seguiu-se com a construção/montagem do aparato.

2.2 Montagem do Aparato

Para a montagem do aparato precisou-se de:

- Supercola;
- Pistola e bastão de cola quente;
- Microscópio;
- Duas placas de alumínio A e B, onde o tamanho das placas são suficientes para alojar a tarraxa e as amostras respectivamente;
- Uma tarraxa de violão;
- Uma serra de ferro;
- Uma câmera fotográfica;
- Uma lanterna;
- Fita adesiva.

Pode-se dizer que a parte mais difícil na construção do aparato, não é a montagem e sim a aquisição dos materiais e a limpeza dos mesmos, sendo que estas já foram citadas acima, toda via, os passos para a construção do aparato são bem simples e estão discorridos abaixo:

Passo 1: Pega-se a serra e faz-se uma abertura na tarraxa. Com a tarraxa é possível por mais um grau de liberdade no aparato para melhorar o manuseio do mesmo na hora de tomar-se as fotografias da gota.



Figura 2.1: Uma tarraxa de violão com uma abertura feita por uma serra de ferro.

Fonte: Próprio autor.

Passo 2: Prende-se com cola quente a placa de alumínio B na abertura feita com a serra na tarraxa.



Figura 2.2: A placa de alumínio B foi presa com cola quente na abertura da tarraxa.

Fonte: Próprio autor.

Passo 3: Prende-se com supercola a placa de alumínio A no microscópio, a intenção com esta placa de alumínio é criar uma base para então prender a tarraxa na mesma.



Figura 2.3: Placa de alumínio A presa com supercola ao microscópio.

Fonte: Próprio autor.

Passo 4: Na placa de alumínio A prende-se a tarraxa com supercola, sendo que a mesma está presa à placa de alumínio B.



Figura 2.4: Placa de alumínio B que está presa à uma tarraxa, sendo que esta, por sua vez está presa à placa de alumínio A.

Fonte: Próprio autor.

Passo 5: Prende-se a lanterna com fita adesiva no microscópio, o intuito da lanterna é por uma iluminação externa que independe da parte elétrica do microscópio.



Figura 2.5: Lanterna presa com fita adesiva na parte que fica as lentes oculares.

Fonte: Próprio autor.

Passo 6: Põe-se a amostra na placa de alumínio, neste caso a amostra é uma placa de vidro.



Figura 2.6: A amostra é o vidro, no entanto, em seu lugar pode-se pôr outras que queira-se medir o ângulo.

Fonte: Próprio autor.

Com isso o aparato está concluído e pronto para ser usado, a Figura 2.7 mostra ele finalizado.

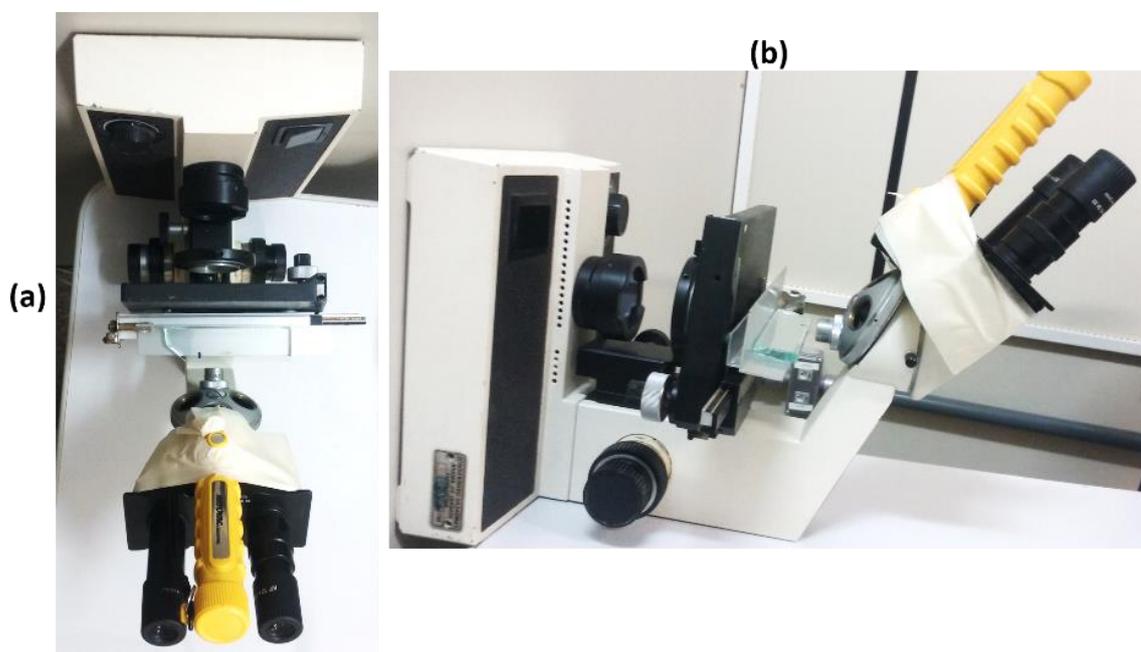


Figura 2.7: Construção do aparato finalizado. A figura (a) mostra o aparato de perfil e a figura (b) mostra o aparato de lado.

Fonte: Próprio autor.

3 METODOLOGIA E DISCUSSÃO

As gotas foram depositadas sobre o vidro com dois tipos de seringas, uma de insulina, pois, a mesma tem o controle do volume mais preciso que as demais dispostas em farmácias e a outra uma microseringa de 10 μl (dez microlitros), sendo o controle do volume desta maior que o controle do volume daquela.

Logo após ao depositar as gotas sobre o vidro, foram tiradas fotografias com a câmera da marca Sony onde a resolução era de no máximo 8 mpx (oito megapixels), graças ao poder de aumento do microscópio, as imagens da gota foram ampliadas em 50 (cinquenta) vezes. Em seguida as fotos foram passadas para um computador para então serem analisadas pelo software Tracker versão 9.45, onde o mesmo faz parte de um projeto de Open Source Physics, ou seja, é um software gratuito para o uso do ensino de física e qualquer pessoa pode baixá-lo, instalá-lo e utilizá-lo sem pagar. Com o Tracker é possível analisar as imagens e obter os ângulos de contato entre a água e o vidro conforme ilustrado na Figura 3.1.

Para facilitar as medidas do ângulo, as imagens foram submetidas a um filtro (negativo), pois com ele, o contraste das bordas em relação ao fundo é mais visível. O ângulo de contato foi medido manualmente no programa com a ferramenta transferidor contida nele.

Foram feitas duas coletas de dados, uma para a seringa de insulina e a outra para a microseringa, no primeiro momento, tem-se as medidas das gotas despejadas pela seringa de insulina. Foram despejadas várias gotas, uma posterior à outra com intervalo de tempo suficiente para fotografar-se duas vezes a mesma gota sendo o intervalo de tempo de 1s entre essas duas fotos. Tirou-se fotografias de 15 (quinze) gotas, logo, têm-se 30 (trinta) fotografias analisadas através do software.

Obteve-se 30 (trinta) valores dos ângulos de contato uma para cada fotografia, como duas fotografias são de uma mesma gota, tirou-se o valor médio entre os ângulos encontrado para as duas imagens resultando assim em 15 (quinze) médias. Por fim, tirou-se o valor médio desses 15 (quinze) dados para então tirar-se o valor do ângulo e sua variação, os dados obtidos estão expostos na tabela 1.

Tabela 1 - Nesta tabela estão os resultados referentes aos ângulos de contato obtidos entre a água e vidro (seringa de insulina).

Gotas	Valor do Ângulo de Contato da 1ª Imagem	Valor do Ângulo de Contato da 2ª Imagem	Média Entre os Ângulos de Contato da 1ª Imagem e da 2ª Imagem
1	47,9	47,3	47,6
2	42,1	47,4	44,6
3	40,7	45,4	43,1
4	41,3	44,9	43,1
5	47,9	48,4	48,2
6	46,8	44,9	45,9
7	44,9	47,5	46,2
8	46,1	45,2	45,7
9	45,8	43,4	44,6
10	45,6	41,7	43,7
11	44,8	45,1	44,9
12	45,7	46,9	46,3
13	43,8	44,6	44,2
14	44,2	44,8	44,5
15	45,3	44,8	45,1
Média das Médias dos Ângulos			45,2 ± 1,5

Fonte: Próprio autor.

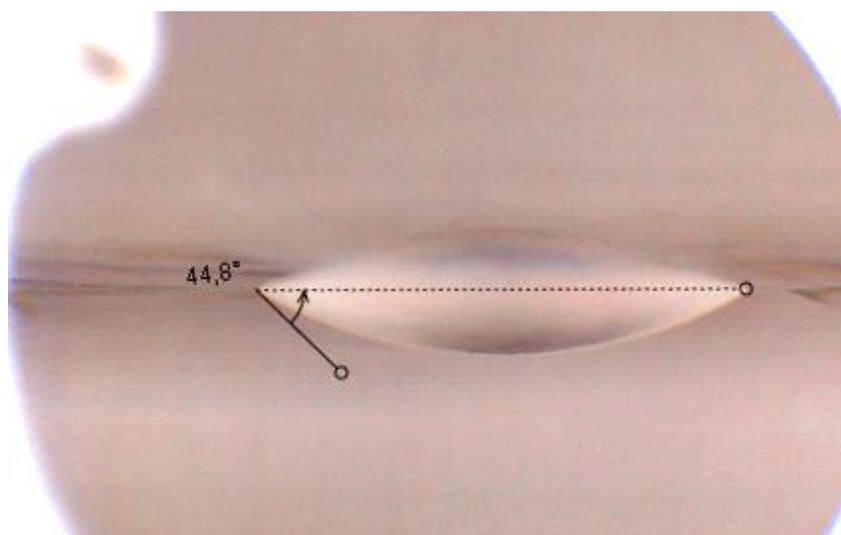


Figura 3.1: Imagem da medida do ângulo de contato entre a água e o vidro de uma gota despejada com a seringa de insulina, com o reflexo do vidro na parte de cima. Nesta imagem o ângulo obtido foi de 44,8°.

Fonte: Próprio autor.

Com isso, o valor do ângulo de contato obtido a partir do aparato para as gotas despejadas pela seringa de insulina e medido com a utilização do software Tracker é de 45,2° com um erro de $\pm 1,5^\circ$, onde caracteriza-se a superfície como hidrofílica.

Com procedimento análogo ao anterior, foram fotografadas 26 imagens. Os dados coletados são relativos às gotas despejadas pela microseringa, e com ela é

possível ter maior controle do volume das gotas, sendo que neste caso o volume das gotas era de 0,1 μl (zero virgula um microlitro), os dados estão ilustrados está na tabela 2.

Tabela 2 - Nesta tabela estão os resultados referentes aos ângulos de contatos obtidos entre a água e vidro (microseringa).

Gotas	Valor do Ângulo de Contato da 1ª Imagem	Valor do Ângulo de Contato da 2ª Imagem	Média Entre os Ângulos de Contato da 1ª Imagem e da 2ª Imagem
1	44,6	44,6	44,6
2	43,6	45,8	44,7
3	44,7	46,3	45,5
4	45,8	46,2	46
5	47,6	46,5	47,1
6	44,3	45,3	44,8
7	43,9	44,8	44,4
8	47,7	44,1	45,9
9	44,3	43,3	43,8
10	44,8	46,3	45,6
11	44,8	45,1	45
12	47,1	45,2	46,2
13	45,4	46,3	45,9
Média das Médias dos Ângulos			45,3 \pm 0,9

Fonte: Próprio autor.

Assim, o valor do ângulo de contato obtido a partir do aparato para as gotas despejadas pela microseringa e medido com a utilização do software Tracker é de 45,3° com um erro de $\pm 0,9^\circ$, onde caracteriza-se a superfície como hidrofílica. É notório uma diminuição da flutuação do resultado, isso é devido ao maior controle do volume da gota.

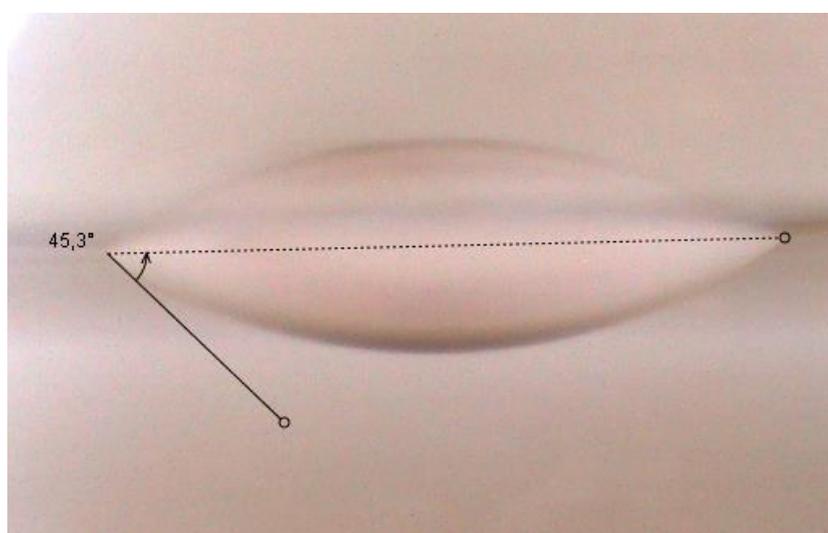


Figura 3.2: Imagem da medida do ângulo de contato entre a água e o vidro de uma gota despejada pela microseringa, com o reflexo do vidro na parte de cima. Nesta imagem o ângulo obtido foi de 45,3°.

Fonte: Próprio autor.

Estes resultados encontram-se na margem de resultados obtidos por equipamentos profissionais, pois conforme Pereira et. al., o ângulo de contato entre água e vidro utilizando o OCA 15 é de 45° com um erro de $\pm 3^\circ$.

3.1 Outros Dados

3.1.1 Thalia Geniculata

De modo análogo ao procedimento anterior, também se calculou o ângulo de contato entre a Thalia Geniculata e a água (esta planta é encontrada com muita frequência em áreas de ressaca), os dados obtidos são para a face adaxial com cera. Para a coleta de dados escolheu-se a parte mais ao centro da planta, os dados estão ilustrados na tabela 3 e tabela 4, a Figura 3.3 mostra duas imagens dos ângulos de contato obtidos através do software.

Tabela 3 - Nesta tabela estão os resultados referentes aos ângulos de contato obtidos entre a água e a Thalia Geniculata (seringa de insulina).

Gotas	Valor do Ângulo de Contato da 1ª Imagem	Valor do Ângulo de Contato da 2ª Imagem	Média Entre os Ângulos de Contato da 1ª Imagem e da 2ª Imagem
1	157,3	157,1	157,2
2	158,5	158,3	158,4
3	157,8	156,6	157,2
4	156,7	156,6	156,6
5	158,4	158,2	158,3
6	158,6	158	158,3
7	156,4	156,7	156,5
8	157,1	157	157,1
9	157,7	158,2	157,9
10	159	158,5	158,7
11	156,5	157,5	157
12	156,4	156,3	156,4
13	159,2	158,8	159

Média das Médias dos Ângulos	157,6 ± 0,9
------------------------------	-------------

Fonte: Próprio autor.

Assim, o valor do ângulo de contato obtido a partir do aparato para as gotas despejadas pela seringa de insulina e medido com a utilização do software Tracker é de 157,6° com um erro de $\pm 0,9^\circ$, onde caracteriza-se a superfície como superhidrofóbica.

Tabela 4 - Nesta tabela estão os resultados referentes aos ângulos de contatos obtidos entre a água e a *Thalia Geniculata* (microseringa).

Gotas	Valor do Ângulo de Contato da 1ª Imagem	Valor do Ângulo de Contato da 2ª Imagem	Média Entre os Ângulos de Contato da 1ª Imagem e da 2ª Imagem
1	158,9	158,1	158,5
2	158,4	159	158,7
3	158,3	157,9	158,1
4	158,4	159,1	158,7
5	157,5	159,5	158,5
6	158	158,6	158,3
7	159,5	159,1	159,3
8	158,2	158,4	158,3
9	158,6	158,6	158,6
10	158,5	158,1	158,3
11	158,7	158,6	158,6
12	158	158,5	158,2
Média das Médias dos Ângulos			158,5 ± 0,3

Fonte: Próprio autor.

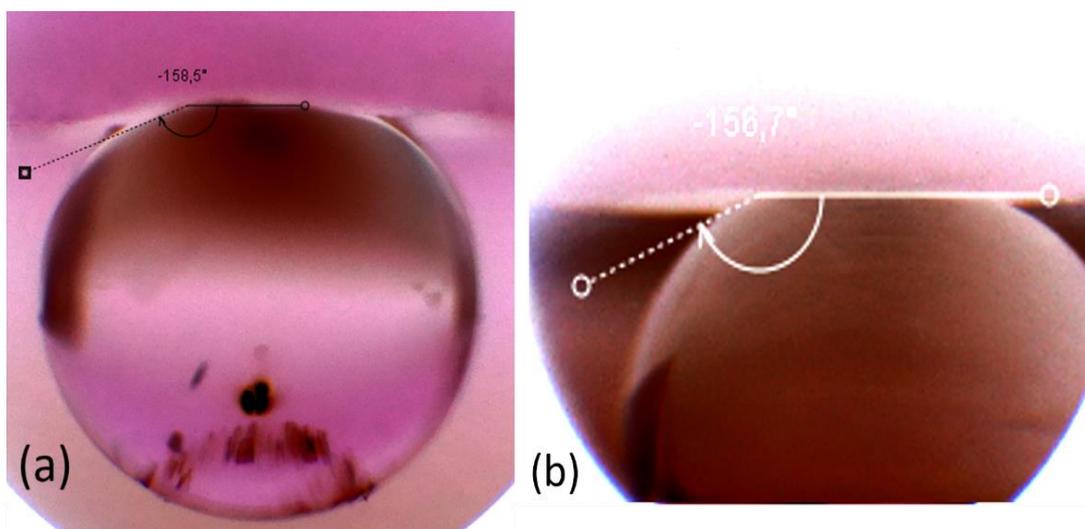


Figura 3.3: Imagens das medidas dos ângulos de contato entre a água e a *Thalia Geniculata*: (a) gota despejada pela microseringa onde o ângulo obtido foi de $158,5^\circ$. (b) gota despejada pela seringa de insulina onde o ângulo obtido foi de $156,7^\circ$.

Fonte: Próprio autor.

Assim, o valor do ângulo de contato obtido a partir do aparato para as gotas despejadas pela microseringa e medido com a utilização do software Tracker é de $158,5^\circ$ com um erro de $\pm 0,3^\circ$, onde caracteriza-se a superfície como superhidrofóbica. Também é notório uma diminuição da flutuação dos resultados, isso é devido ao maior controle do volume da gota, onde neste caso o volume da gota foi de $3 \mu\text{l}$ (três microlitros).

Estes resultados também se encontram na margem de resultados obtidos por equipamentos profissionais, pois, conforme Figueiredo et. al., o ângulo de contato entre água e a *Thalia Geniculata* para a face adaxial com cera é de $158,3^\circ$ com um erro de $\pm 0,44^\circ$.

3.1.2 Colocasia Antiquorum Schottpara

Seguindo o mesmo procedimento, analisou-se também a *Colocasia Antiquorum Schottpara* conhecido popularmente como tajá, cocó, comigo ninguém pode, etc. A parte analisada da planta foi a parte mais escura e mais ao centro, os dados estão na tabela 5 e tabela 6, a Figura 3.4 mostra dois dos ângulos de contato medidos no Tracker, um para uma gota despejada pela seringa de insulina e o outro para uma gota despejada pela microseringa respectivamente.

Tabela 5 - Nesta tabela estão os resultados referentes aos ângulos de contatos obtidos entre a água e a *Colocasia Antiquorum Schottpara* (seringa de insulina).

Gotas	Valor do Ângulo de Contato da 1ª Imagem	Valor do Ângulo de Contato da 2ª Imagem	Média Entre os Ângulos de Contato da 1ª Imagem e da 2ª Imagem
1	157,5	163,8	160,6
2	163,7	160,5	165,8
3	167,7	163,9	165,8
4	160	163,1	161,5
5	157,8	151,6	154,7
6	166,2	162,9	164,5

7	159,9	153,1	156,5
8	158,9	158,8	158,8
9	169,1	166	167,5
10	157,8	157,8	157,8
11	160,9	160,2	160,5
12	159,6	162,8	161,2
13	156,8	155,7	156,2
14	156,2	155	155,6
15	160,9	157,5	159,2
Média das Médias dos Ângulos			160,4 ± 4

Fonte: Próprio autor.

Tabela 6 - Nesta tabela estão os resultados referentes aos ângulos de contatos obtidos entre a água e a Colocasia Antiquorum Schottpara (microseringa).

Gotas	Valor do Ângulo de Contato da 1ª Imagem	Valor do Ângulo de Contato da 2ª Imagem	Média Entre os Ângulos de Contato da 1ª Imagem e da 2ª Imagem
1	166,3	167,7	167
2	168,8	170,3	169,5
3	168	166	167
4	169,2	165,7	167,4
5	164,9	170,1	167,5
6	165,9	170,2	168,0
7	166	166,1	166,0
8	171,6	170,6	171,1
9	165,9	170,7	168,3
10	166,4	166,1	166,2
11	166,9	169,1	168
12	167,7	166,3	167
Média das Médias dos Ângulos			167,8 ± 1,4

Fonte: Próprio autor.

Com isso, pode-se dizer que o valor do ângulo de contato segundo nosso aparato é $160,4^{\circ} \pm 4^{\circ}$ para gotas onde se usou a seringa de insulina e $167,8^{\circ} \pm 1,4^{\circ}$ para gotas onde se usou a microseringa, aqui também é perceptível a diminuição na flutuação do resultado, isso porque o volume da gota manteve-se constante em 3 μ l.

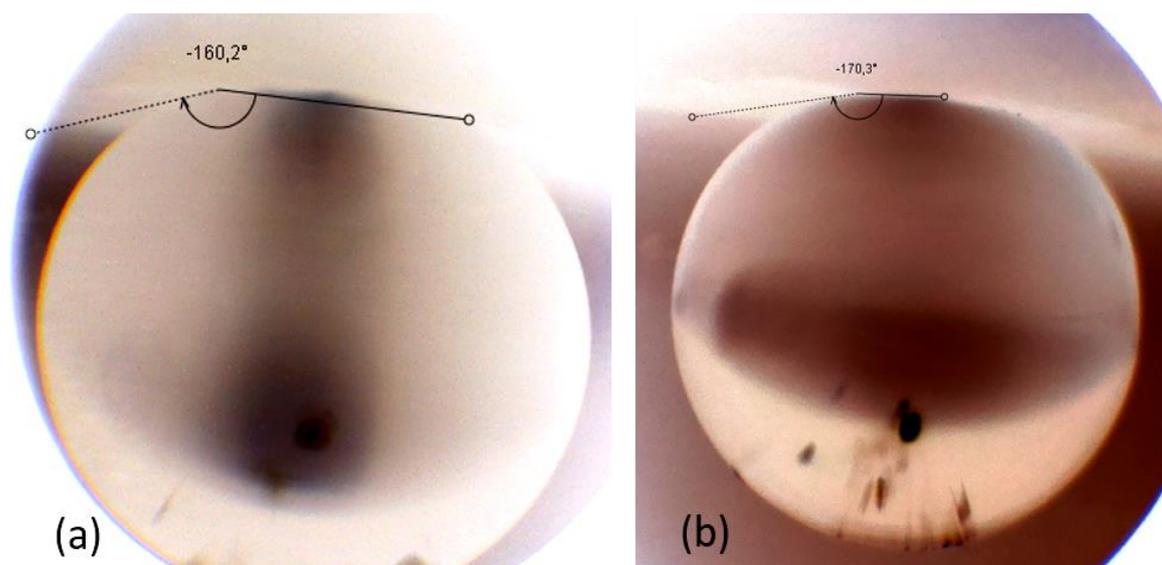


Figura 3.2: Imagens das medidas dos ângulos de contato entre a água e a Colocasia Antiquorum Schottpara, (a) imagem da gota da seringa de insulina e o ângulo medido foi de $160,2^\circ$; (b) imagem da gota da microseringa e o ângulo medido foi de $170,3^\circ$.

Fonte: Próprio autor.

Com base nos resultados acima podemos dizer que a superfície da Colocasia Antiquorum Schottpara não é hidrofóbica e sim uma superfície superhidrofóbica pois o valor do ângulo de contato encontrado foi superior a 150° , superando assim nossas expectativas. Este resultado não foi comparado a outros resultados feitos por equipamento profissionais, pois, ainda não se encontrou trabalhos que tenham o valor do ângulo de contato entre água e a Colocasia Antiquorum Schottpara.

3.2 Vantagens e Desvantagens do Aparato

Tem-se algumas vantagens ao usar-se o aparato como por exemplo o custo e manutenção deste é baixo; o software para a medida do ângulo é gratuito; sua construção e manuseio é simples fazendo com que qualquer pessoa pode estar construindo um e manuseando-o; alguém que nunca trabalhou com um medidor de ângulo de contato pode trabalhar com este facilmente; pesquisadores mais experientes ou amadores podem trabalhar e podem seguir suas pesquisas.

Certamente há vantagens, no entanto, há também desvantagens. Essas desvantagens são devido ao aparato não ser de origem comercial e sim construído a

partir de sucata, assim, pode-se dizer que essas vantagens presentes nesta pesquisa podem ser extinguidas trabalhando para melhoria do mesmo.

Pode-se citar como desvantagens a dificuldade na hora de estabilizar a câmera para a captura das imagens; o gotejamento sobre a superfície é manual e com isso qualquer desequilíbrio na mão resulta em uma má formação da gota; não há um controle preciso sobre o volume da gota usando a seringa de insulina, pois, ora põe-se uma gota com maior volume, ora põe-se uma gota com menor volume influenciando assim um ângulo de contato maior ou menor prejudicando a obtenção do resultado do mesmo, pois sabe-se que existe uma preocupação em manter o volume da gota praticamente constante (para evitar flutuações no resultado, como assim mostrados nos dados obtidos acima) como também o diâmetro da gota não ultrapassar os $10\mu\text{m}$, para que seja possível desprezar efeitos da força gravitacional; os ângulos são medidos manualmente e com isso os erros sistemáticos podem ser maiores como também o usuário pode manipular os dados; a adesão da gota na agulha quando despeja-se o líquido sobre uma superfície hidrofóbica. (Pereira et. al., 2012/2013)

4 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Há melhorias a fazer neste aparato, pois, há limitações no mesmo e isso deve-se ao fato dele não ser profissional e sim construído de sucata, contudo, mesmo o aparato sendo amador, o mesmo foi capaz de medir ângulo de contato entre a água e o vidro, entre água e a *Thalia Genuiculata* e entre água e a *Colocasia Antiquorum Schott* para mostrando resultados coerentes com demais resultados obtidos a partir de equipamentos profissionais. Os resultados estão ilustrados na tabela 7, ou seja, com base nos dados adquiridos nesta pesquisa pode-se dizer que o aparato funciona e alcançou seu objetivo principal que é medir ângulo de contato com um aparato de baixo custo e dizer se a superfície é hidrofóbica ou hidrofílica, e ainda este aparato caracterizou a superfície da *Colocasia Antiquorum Schott* para como superhidrofóbica superando nossas expectativas, pois, o ângulo de contato encontrado foi de $167,8^\circ \pm 1,4^\circ$.

Tabela 7 – Nesta tabela está uma comparação entre os ângulos de contato obtidos com o aparato construído e os ângulos de contato obtidos por equipamentos profissionais.

Superfícies	Água vs Vidro	Água vs <i>Thalia Genuiculata</i>	Água vs <i>Colocasia Antiquorum Schott</i>
Valor do ângulo de contato para as gotas depositadas pela microseringa	$45,3^\circ \pm 0,9^\circ$	$158,5^\circ \pm 0,3^\circ$	$167,8^\circ \pm 1,4^\circ$
Valor do ângulo de contato para as gotas depositadas pela seringa de insulina	$45,2^\circ \pm 1,5^\circ$	$157,6^\circ \pm 0,9^\circ$	$160,4^\circ \pm 4^\circ$
Ângulos de contato encontrado por equipamentos profissionais	$45^\circ \pm 3^\circ$	$158,5^\circ \pm 0,3^\circ$	—
Erro relativo entre o valor do aparato construído e o valor de equipamentos profissionais para as gotas depositadas pela microseringa	0,7%	0	—
Erro relativo entre o valor do aparato construído e o valor de equipamentos profissionais para as gotas depositadas pela seringa de insulina	0,4%	0,6%	—

Erro relativo do aparato para as gotas depositadas pela microseringa	4,0%	0,4%	1,7%
Erro relativo do aparato para as gotas depositadas pela seringa de insulina	6,6%	1,1%	5,0%

Fonte: Próprio autor.

Como sugestão para melhoramento do aparato, poderia desenvolver-se um software capaz de medir o ângulo de contato automaticamente ao analisar a imagem da gota obtida a partir da câmera. Devido a água ser apolar poderia estar aterrando a agulha, assim a gota não ficaria na mesma quando esta fosse despejada sobre uma superfície hidrofóbica e ainda estar trabalhando nas desvantagens deste aparato para aperfeiçoá-lo.

Como próxima pesquisa usando este aparato poderia medir o raio de curvatura de uma gota como também analisar a dinâmica do ângulo de contato quando a mesma evapora sobre a superfície escolhida.

REFERÊNCIAS

- FERREIRA, M.C. Caracterização da cobertura de pulverização necessária para controle do ácaro *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) em citros. 2003. 64 f. **Tese (Doutorado em Produção Vegetal)** – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2003.
- Doring, L. J. R. Lasmar, O. e Ferreira, M. da C. Cinética da tensão superficial e do ângulo de contato de gotas a partir de caldas com acaricida propargito e adjuvantes sobre folhas de café. **CONBRAAF - Congresso Brasileiro de Fitossanidade**. UNESP, Jaboticabal – SP, p. 2, 2013.
- BURKARTER, E.: Construção de imagens por padrões hidrofóbico/hidrofílicos. 2006. 94 f. **Dissertação de Mestrado**, Pós-Graduação em Física, UFPR, Curitiba, 2006.
- Burkarter, E.: Desenvolvimento de Superfícies Superhidrofóbicas de Politetrafluoretileno. 2010. 138 f. **Tese de Doutorado**, Pós-Graduação em Física, UFPR, Curitiba, 2010.
- Lima, R. M. F. Luz, J. A. M. CAPÍTULO 28 – MEDIDA DE ÂNGULO DE CONTATO. **Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais – CETEM/MCT**. p. 489-503. Rio de Janeiro – RJ, 2007
- SERRA, C. P. & KARAS, E. W.: Fractais Gerados por Sistemas Dinâmicos Complexos. Curitiba, Editora Universitária Champagnat, 1997.
- Filho, V. A. A.: Arranjos Log-Periódicos Compactos em Microfita com Elementos Fractais de Koch. **Dissertação de Mestrado**, Pós-graduação em Engenharia Elétrica Natal – RN, 2010.
- ONDA, T., SHIBUICHI, S., SATOH N., TSUJII, K.: Super-Water-Repellent Fractal Surfaces. *Langmuir* 12, 9, 1996.
- Tracker Video Analysis and Modeling Tool. Disponível em: <<http://physlets.org/tracker/>>. Acessado em 10/10/2016.
- OLHARNANO – O Universo Nano Ao Seu Alcance: **O Efeito Lotos**. Disponível em: <<http://www.olharnano.com/artigos/4001/63001/O%20efeito%20L%20%C3%B3tus>>. Acessado em 14/11/2016.
- Assis, T. A. Miranda, J. G. V. Mota, F. de B. Andrade, R. F. S. Castilho, C. M. C.: Geometria fractal: propriedades e características de fractais ideais, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 2, 2304 (2008)
- Valim, J. C. M. Colucci, V.: Geometria Fractal No Ensino Fundamental e Médio, **XXII SEMANA ACADÊMICA DA MATEMÁTICA**. Curso de Matemática – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel – PR.
- Pereira, A. C. M. Figueiredo, F. M. F. Bastos, F. C. C. Noronha, V. T.: T3 – Ângulos de Contacto em Interfaces Sólido-Líquido, **Fenômenos Interfaciais MIB Ramo Engenharia Biológica 3º ano 2012/2013**. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto – FEUP.

Hernandez, L. F. Júnior, W. P. Lima, R. da R. Silva, M. L. P.: Equipamento Didático para Medida de Ângulo de Contato: Avaliação de Desempenho. Universidade de São Paulo, SP – Brasil.

Figueiredo, S. S. Prioli, R. Zamora, R. R. M.: Estudo da Superhidrofobicidade de Folhas da Espécie Vegetal *Thalia Geniculata* (LINEU, 1753). **Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas**, Universidade Federal do Amapá –UNIFAP

Ferreira, L. M. V.: Revestimentos Hidrofóbicos. **Dissertação de Mestrado**, Engenharia de Materiais, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa – FTC, 2013.

Oliveira, C. Peres, C. Hubacek, L. Simas, M. Kai, R.: “Construção de um Termometro”. **Laboratório de Física II**, Universidade Paulista “Júlio Mesquita Filho” – UNESP Campus Experimental de Sorocaba

ANEXOS