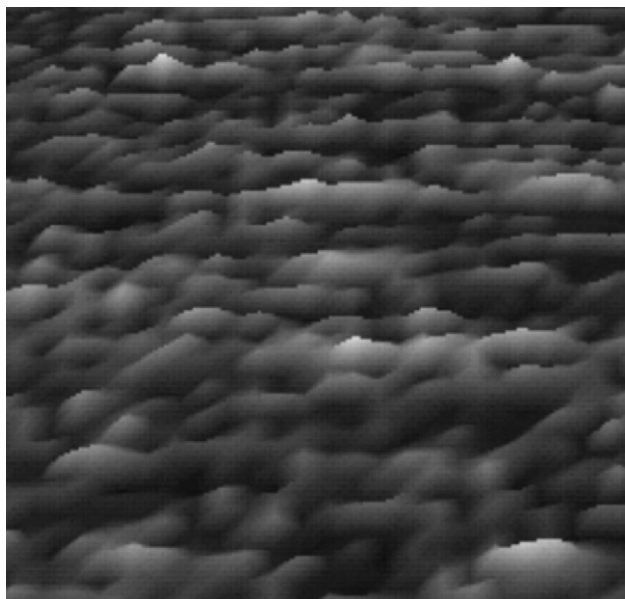


Imagem de AFM: Paulo S. P. Herrmann Jr.



Análise de Minerais do Solo por Espectroscopia de Força Atômica

Fábio de Lima Leite¹
Ervin C. Zeimath²
Paulo Sergio de Paula Herrmann Jr³

Resumo

O Microscópio de Força Atômica foi usado para investigar interações de força de adesão na nano-escala entre superfícies sólidas, através de medidas de curvas de força em dois ambientes: em ar e em água. As medidas de curva de força adquiridas em ar quantificaram as forças de adesão devido a componente capilar, que surge da camada de água adsorvida na superfície da amostra. Os valores médios da força de adesão para o quartzo, silício e mica foram de: 20 nN; 23 nN e 32 nN, respectivamente. As medidas realizadas em água detectaram a força de adesão devido somente as forças de van der Waals, na ausência de cargas eletrostáticas, apresentando os seguintes resultados: 6nN, 6nN e 1nN, para as amostra de quartzo, silício e mica, respectivamente. Esta análise revelou, para os materiais utilizados nesse trabalho, que na nanoescala, são as condições ambientais, e não as propriedades do material que desempenham um papel mais importante nas interações adesivas entre sólidos. A caracterização da força de adesão em sólidos foi obtida através de 20 medidas realizadas no mesmo ponto, em 5 pontos distintos na mesma região e em 3 regiões distintas da amostra. Isto possibilitou investigar a variabilidade das forças de adesão na superfície em estudo, mostrando que a nano-adesão varia com a topografia e com as condições físicas locais. Mapas de adesão foram utilizados para caracterizar a heterogeneidade de superfícies atômicamente planas (mica) e superfícies rugosas (quartzo).

Introdução

Microscopia de Varredura por Sonda (SPM)

A Microscopia de Varredura por Sonda (SPM) é na realidade um grupo de instrumentos que possibilita realizar medidas físicas e químicas de um conjunto de interações de força (forças atrativas e repulsivas, por exemplo). O SPM é composto basicamente de sonda sensora, cerâmicas piezelétricas (scanners) para posicionar a amostra e realizar varreduras, circuitos elétricos de realimentação para controlar a posição vertical da sonda e um computador para mover os scanners de varredura, armazenar dados e convertê-los em imagens por meio de um software específico para esse fim (Fig. 1).

Os Microscópio de Varredura de Força (conhecido em inglês, com Scanning Force Microscopy (SFM)) geram as imagens da superfície por intermédio da detecção da força de repulsão ou atração que a amostra exerce na sonda, que causa uma deflexão em uma haste. Os SFM podem ser divididos em Microscopia de Força Atômica (AFM Atomic Force Microscopy), Microscopia de Força Magnética (MFM "Magnetic Force Microscopy"), Microscopia de Força Eletrostática (EFM "Electrostatic Force Microscopy") e Microscopia de Força Lateral (LFM "Lateral Force Microscopy").

¹ Físico, MSc., Embrapa Instrumentação Agropecuária, C.P. 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP, leite@cnpdia.embrapa.br.

² Físico, Dr., UNESP-Rio Claro, C.P. 178, CEP 13500-970; Rio Claro, SP, ziemath@rc.unesp.br.

³ Eng. Eletrônico, Dr., Embrapa Instrumentação Agropecuária, C.P. 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP, herrmann@cnpdia.embrapa.br.

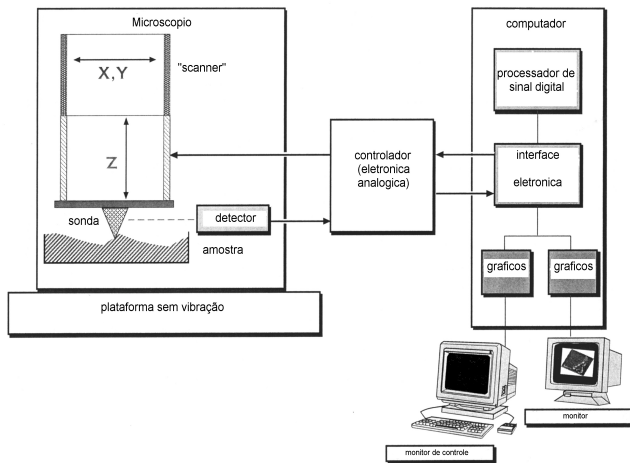


Fig. 1 Esquema mostrando os componentes básicos do Microscópio de Varredura por Sonda (SPM).

Os Microscópio de Varredura de Força (conhecido em inglês, com Scanning Force Microscopy (SFM)) geram as imagens da superfície por intermédio da detecção da força de repulsão ou atração que a amostra exerce na sonda, que causa uma deflexão em uma haste. Os SFM podem ser divididos em Microscopia de Força Atômica (AFM Atomic Force Microscopy), Microscopia de Força Magnética (MFM "Magnetic Force Microscopy"), Microscopia de Força Eletrostática (EFM "Electrostatic Force Microscopy") e Microscopia de Força Lateral (LFM "Lateral Force Microscopy").

O AFM pode operar no regime de trabalho conhecido como modo contato, que possui uma faixa de medida de forças que se estende de 10^{-6} a 10^{-10} N, e no regime de trabalho de nãocontato, que chega a medir forças da ordem de 10^{-13} N. O modo contato é o método mais utilizado para se fazer imagens em AFM e possui a seguinte característica: a força a ser detectada é do tipo repulsiva e a constante de mola da haste, em geral no formato de V, com baixa constante elástica, para se conseguir uma boa flexão sem deformar a amostra. As constantes de mola destas hastes variam de 0,02 e 0,36 N/m. Eventualmente, podem ser utilizadas hastes mais rígidas, cujas constantes de mola variam entre 20 e 80 N/m [1].

Espectroscopia de Força

O estudo da relação entre força e distância agulhaamostra chama-se *espectroscopia de força* [2]. Quando determina-se a curva de força em função da distância em um local determinado sobre a superfície da amostra, denomina-se *espectroscopia de força local*. Atualmente as principais pesquisas em andamento, utilizando o microscópio de força atômica, têm como objetivo compreender as *curvas de força*. O comportamento dessas curvas depende de um grande número de parâmetros e situações, como o material que constitui a ponta da agulha de prova e sua funcionalização, o tipo de superfície em estudo, bem como as moléculas adsorvidas na superfície do material e o ambiente que envolve a superfície e a agulha.

Curva de Força

Desde 1986, o uso do AFM tem crescido como uma ferramenta útil para o estudo de interações de força

sobre uma superfície utilizando para isto curvas de força. Ele é capaz de medir curvas de força em toda espécie de superfície em diversos ambientes, com resolução lateral (25 nm) [3], vertical (0,1 Å) e de força (1 pN) [4].

As Regiões da Curva de Força

A curva de força (Fig. 2) pode ser dividida em três regiões: a linha de contato, a região de não-contato e a linha zero. A descrição de cada parte do gráfico da Fig. 2(a) é mostrada com detalhes na Fig. 2(b), onde está ilustrado o movimento da haste devido às interações agulha-amostra.

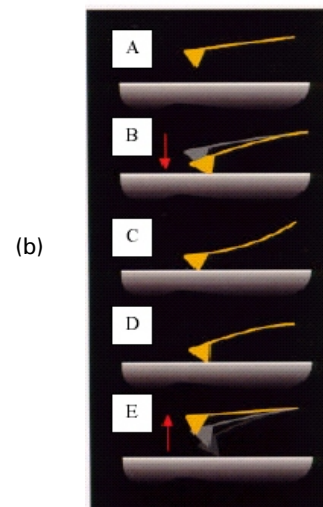
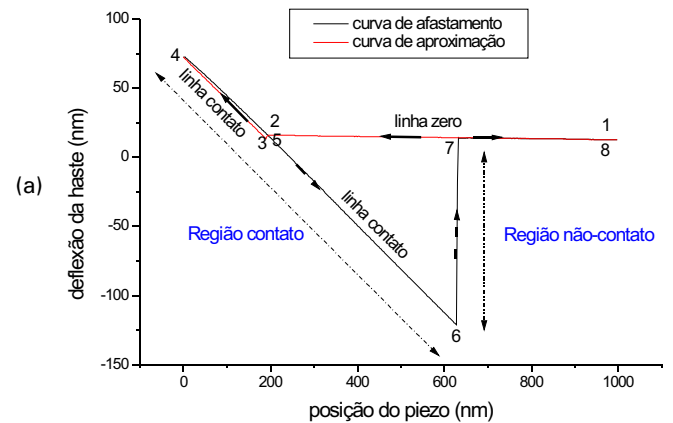


Fig. 2 Curva de força por Microscopia de Força Atômica. (a) ilustrando todas as possíveis regiões e os pontos onde ocorrem o destacamento e a atração da haste, e (b) ilustrando o movimento da haste em relação às forças de interação no sistema agulha-amostra.

Analisando a Fig. 2, temos:

A) Do ponto 1 até a mudança para o ponto 2, o piezo está se estendendo para o contato com a agulha; portanto, não há contato algum. Nessa região, se a haste sentir uma força atrativa de longo-alcance ela defletirá para baixo fazendo contato com a superfície. No caso mostrado, existe uma força mínima de longo-alcance, assim este "não-contato" parcial da curva de força mostra não deflexão;

(B) No ponto 2 a agulha é puxada para baixo pelas forças atrativas próximas à superfície (como a ponta de prova está muito próxima da superfície, ela pode saltar para o contato se sentir força atrativa suficiente na amostra) até o ponto 3;

(C) Na direção do ponto 4 a agulha está pressionada contra a superfície, e a haste se desloca para cima. Se a haste é suficientemente rígida, a ponta de prova pode fazer uma indentação na superfície neste ponto. Nesse caso, o declive de contato parcial da curva

de força pode fornecer informações sobre a elasticidade da superfície da amostra;

(D) Do ponto 4 para o ponto 5, o piezo começa a se retrair e a haste começa a voltar ao equilíbrio com as forças de superfície. A continuação do deslocamento do ponto 5 para o ponto 6 mostra que o piezo continua se retraindo e a haste se curva para baixo com a atração da superfície, retendo assim a agulha devido à força de adesão e de ligação.

(E) Do ponto 6 para o ponto 7 é mostrado o ponto de ruptura entre a agulha e a superfície. A haste retorna rapidamente a posição inicial e a continuação da retração do piezo pode ser vista na direção do ponto 7 a 8. Não há mais qualquer contato entre a agulha e a amostra.

Interações Solo-água

O solo para os propósitos da física do solo, pode ser assumido como um sistema multicomponente, integrado pelas fases sólida, líquida e gasosa. A porção do espaço poroso não ocupada pela fase líquida é complementada pela fase gasosa. Portanto, a fase líquida pode estar presente nos poros do solo de forma completa (solo saturado) ou parcialmente presente (solo não saturado); as fases líquida e gasosa chegam a ocupar uma grande parte do volume do solo e compõem a porosidade total. A fase gasosa caracteriza a porosidade de aeração do solo ou porosidade livre de água, a qual contém gases como CO_2 , O_2 , N_2 , NH_3 , e vapor de água. A fase líquida, isoladamente, caracteriza a umidade do solo e é representada pela água ou solução do solo, contendo íons como H_2PO_4 , SO_4^{2-} , NO_3 , K^+ , Cl^- , Ca^{2+} , H^+ , NH_4^+ , etc.

A água contida no solo (Fig. 3) pode ser classificada em:

1. Água de constituição → é a que faz parte da estrutura molecular da partícula sólida;
2. Água adesiva ou adsorvida → é aquela película de água que envolve e adere fortemente a partícula sólida;
3. Água livre → é a que se encontra em uma determinada zona do terreno, enchendo todos os seus vazios, o seu estudo rege-se pelas leis da Hidráulica;
4. Água hidros cópica → é a que ainda se encontra em um solo ao ar livre;
5. Água capilar → é aquela que nos solos de grãos finos sobe pelos interstícios capilares deixados pelas partículas sólidas, além da superfície livre da água.

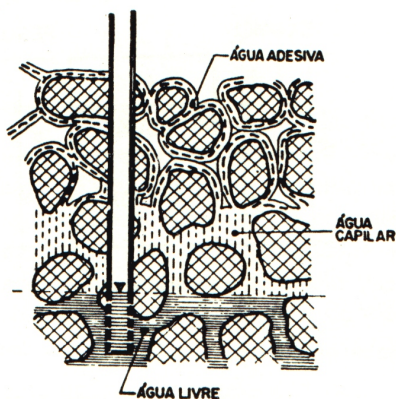


Fig. 3 Ilustração da água contida no solo. Onde mostra os tipos de água contido no solo. A altura capilar que a água alcança em um solo, se determina considerando sua massa como um conjunto de tubos capilares, formado pelos seus vazios. Na realidade, estes "tubos" são irregulares.

Nos solos finos (siltosos e argilosos), os quais possuem vazios de diâmetro reduzido, a altura capilar será maior do que nos solos grossos (pedregulhos e arenosos). A contração dos solos é explicada pelos fenômenos capilares. Com efeito, quando toda a superfície de um solo está submersa em água, não há força capilar. À medida que a água vai sendo evaporada, vão se formando meniscos entre os seus grãos e, conseqüentemente, surgirão forças capilares, que aproximam as partículas. Existe, assim, agindo sobre o solo e em todas as direções, uma pressão, chamada, "pressão capilar", que cresce à medida que se evapora a água. Esta compressão produzida pela pressão capilar explica desse modo, a contração dos solos durante o seu processo de perda de umidade.

Em relação à água adsorvida, podemos acrescentar a atividade da superfície dos solos finos. As investigações sobre as propriedades das frações muito finas dos solos mostram que a superfície das partículas possui uma carga elétrica negativa, cuja intensidade depende primordialmente de suas características mineralógicas; atividades físicas e químicas decorrentes dessa carga superficial constituem a chamada atividade da superfície do mineral.

Em contato com a água, cujas moléculas são polarizadas (H^+ , OH^-), as partículas sólidas atraem seus íons positivos H^+ , formando assim uma película de água adsorvida, denominada camada adsorvida (Fig. 4). Suas propriedades são diferentes das da água comum, em vista da grande pressão a que está submetida pelas forças eletrostáticas de adsorção.

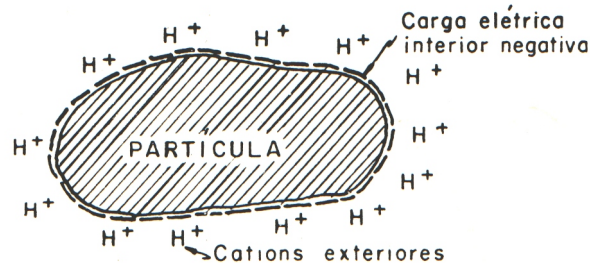


Fig. 4 - Ilustração da camada adsorvida.

O principal objetivo do trabalho é utilizar a curva de força com a microscopia de força atômica para determinar a força de adesão em superfícies de materiais, tais como mica, quartzo e silício, utilizando um conjunto hasteagulha de silício e de nitreto de silício.

Materiais e Metodologia

Os resultados foram obtidos com microscópio de força atômica (AFM) da linha Topometrix, Discoverer, modelo TMX 2010 (Fig. 5), do laboratório de microscopia da Embrapa Instrumentação Agropecuária, equipado com um "scanner" de $7 \times 7 \text{ m}^2$ de área de varredura. O equipamento Topometrix 2010 (Santa Clara - CA - USA) permite obter imagens utilizando as técnicas de contato, nãocontato e força lateral além também de obter curvas de força.

Utilizou-se para os experimentos realizados nesse trabalho dois conjuntos hasteagulha de silício (o qual em ar possui uma camada de óxido nativa, e pode-se representar está oxidação sobre a superfície do silício como: $\text{SiO}_2/\text{Si} [\text{e}^-]$) e nitreto de silício (Si_3N_4) com valores nominais de raio da ponta, R_p , informados pelo fabricante,

$R_p < 20$ nm e $R_p < 50$ nm e constantes elásticas, k_h , entre 0,3 1,5 N/m e 0,36 N/m, respectivamente. Esse valores também foram determinados experimentalmente (listados na Tabela 1) através de imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

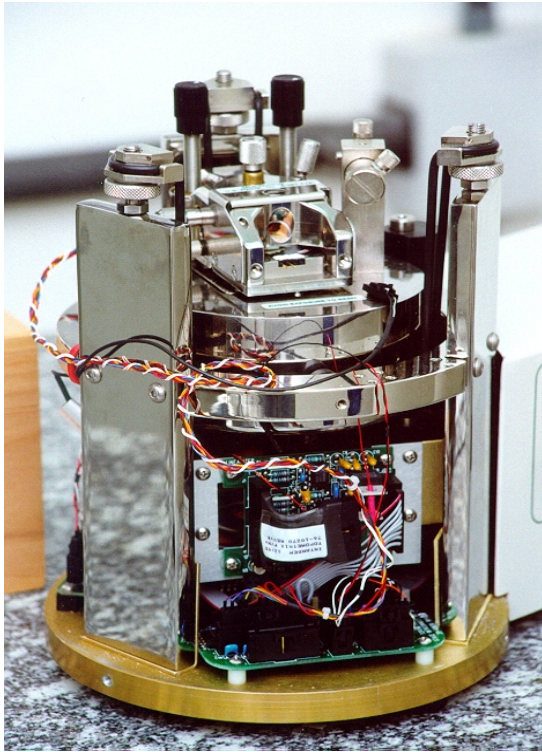


Fig. 5 Foto do equipamento Discoverer TMX 2010 Topometrix.

Tabela 1 Resultados experimentais dos valores de k_h e R_p , obtidos por MEV e os seus valores nominais.

Material da ponta de prova	Constante elástica média da haste (N/m)*	Constante elástica nominal (N/m)	Raio médio da ponta de prova (nm)	Raio nominal (nm)
SiO ₂ /Si	0,13±0,02	0,3 – 1,5	48±12	≤20
Nitreto de silício	0,54±0,04	0,36	80±10	≤50
Nitreto de silício**	0,50±0,04	0,36	72±10	≤50

Os substratos quartzo e mica muscovita são silicatos, tendo como estrutura inorgânica o “SiO₄”, que se apresenta como tetraedro, no qual um átomo de silício é coordenado com quatro átomos de oxigênio. As forças que unem os átomos entre si neste tetraedro as ligações covalentes; consequentemente, esses átomos estão fortemente ligados.

Assim como o quartzo, a mica (doadada pela Dra. Jane Frommer, da IBM® Almaden Research Center, San Jose, CA, USA) também é um silicato (aluminossilicato), mas com estruturas e propriedades bem diferentes. Ela é facilmente clivada, utilizando uma fita adesiva da marca Durex, resultando em uma superfície plana com rugosidade da ordem de 2 Å. Uma superfície recém clivada da mica tem um grande número de cargas negativas devido à substituição isomórfica do alumínio por silício. No cristal, essa mudança é compensada por íons potássio, que aparecem para balancear as cargas, localizando-se entre as camadas do mineral. Quando a mica é imersa em solução aquosa, os íons potássio sobre a superfície se dissociam deixando a superfície negativa, resultando em uma superfície com propriedades semelhante ao vidro.

Resultados e Discussão

Análise em Condições Ambiente

Quando o AFM está operando em ar, forças capilares devido ao filme de água adsorvido em ambas superfícies da ponta e da amostra, provoca uma forte interação entre elas, mesmo na escala nanométrica. A adesão, que é a força necessária para separar a ponta da amostra, muda drasticamente com a presença de filmes líquidos [6]. Forças capilares dependem do volume de líquido e suas propriedades, e da geometria da interface incluindo o raio da ponta.

O valor da deflexão da haste foi de $\delta_H = 226$ nm e a força de adesão foi de $F_{ad} = (29 \pm 4)$ nN, utilizando a constante elástica da Tabela 1. O desvio apresentado para a força de adesão é devido somente a incerteza estimada pelo cálculo da constante elástica.

O valor médio da deflexão para os 5 pontos distintos da região foi de $\delta_H = 229,14$ nm. E o valor médio da força de adesão foi de: $F_{Ad} = 30,6$ nN, o que proporciona uma variabilidade de 20%.

A Fig. 6(a) mostra os histogramas das medidas da deflexão da haste no desprendimento de 5 pontos na região varrida e a variabilidade das medidas no mesmo ponto. E na Fig. 6(b) tem-se a imagem da superfície da mica obtida pelo modo contato de obtenção de imagem, sobre o qual foram feitas as medidas de curva de força.

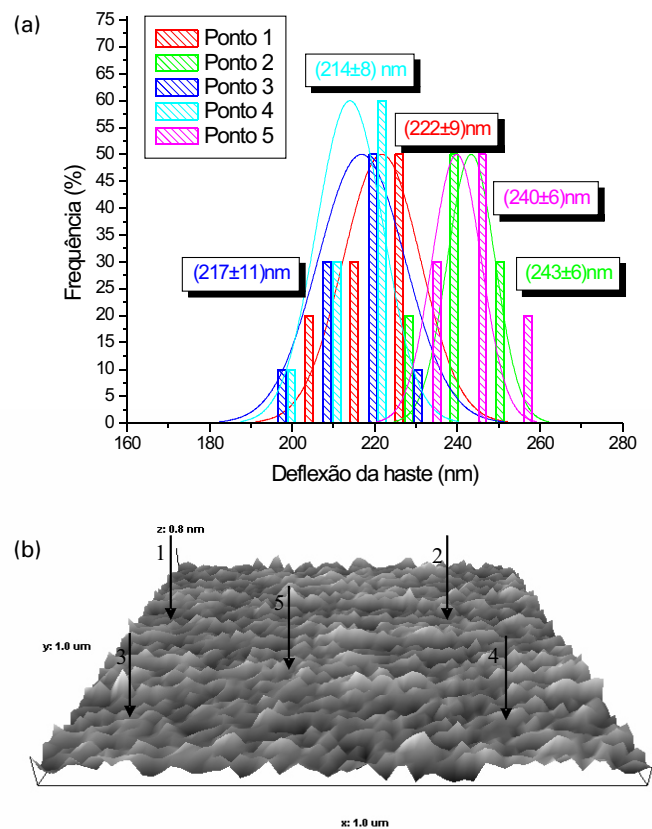


Fig. 6 Ilustração da análise estatística dos dados de curva de força por AFM em substrato de mica muscovita em condições ambiente (UR = 50%; T = 26°C). (a) Histogramas dos valores da deflexão da haste na região varrida da amostra (20 curvas de força por ponto). (b) Topografia de uma região da mica muscovita, o valor da rugosidade média foi de $R_a = (0,01 \pm 0,01)$ nm.

A Fig. 7 mostra que a força de adesão varia desde de 21 nN para as regiões verdes mais escuras até 40 nN nas regiões amarelas mais claras. O *mapa de adesão* é uma ferramenta que poderá proporcionar a investigação de cargas eletrostáticas em superfícies de materiais isolantes e condutores em diferentes condições, além de indicar os sítios de contaminação.

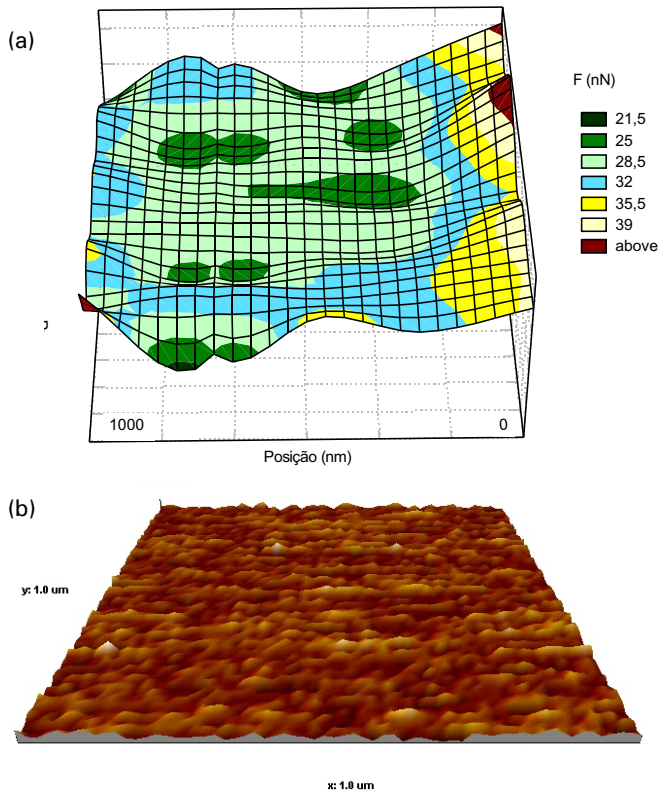


Fig. 7 (a) Figura ilustrando a distribuição superficial da adesão numa região da superfície da mica muscovita. Foram obtidos 100 pontos igualmente espaçados em 100 nm em toda a superfície, em cada ponto foram realizadas 10 medidas. O valor médio da força de adesão foi de $(29 \pm 3) \text{ nN}$. (b) Topografia da superfície da mica.

Análise em Solução

A significativa força de adesão observada nas medidas de curva de força obtidas em ar é devido a força capilar exercida por uma fina camada de água adsorvida sobre a superfície da amostra. A fim de medir a adesão devido somente às forças de van der Waals, deve-se eliminar a força capilar. Isto pode ser realizado removendo-se a camada de água sob a superfície, trabalhando-se em baixa umidade (tal como em nitrogênio seco) ou mergulhando ambos, a ponta e a amostra em um ambiente líquido.

Quando se trabalha em ambiente líquido, no caso particular a água, existe sempre uma pequena fração de íons que podem carregar a superfície da amostra e da ponta [7]. A água é um líquido polar, portanto, o estudo das interações se torna mais complicado, pois líquidos polares podem induzir cargas superficiais na interface sólido-líquido. A Fig. 8 apresenta a variação das forças de adesão entre a ponta de silício e a superfície da mica adquiridas em ar e em líquido.

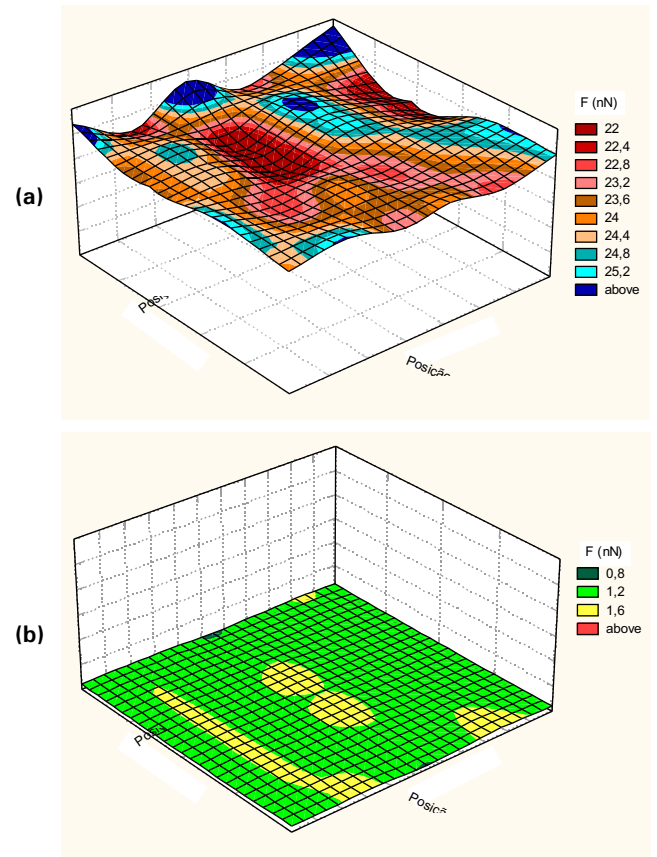


Fig. 8 Mapas de força de adesão demonstrando a variabilidade da força de adesão da amostra de mica em ar (a) e em água (b). A altura no mapa de adesão está relacionado com a magnitude das forças de adesão. A força de adesão média em água foi de $F = 1,2 \pm 0,2 \text{ nN}$ e no ar foi de $F = 24 \pm 4 \text{ nN}$.

Observa-se que tanto as forças atrativas quanto as forças de adesão são menores que aquelas obtidas em ar. As forças atrativas obtidas em ar foram de aproximadamente 1 nN, enquanto, em solução variou entre 0,08 nN e 0,5 nN dependendo do local onde se realizou a medida.

A força de adesão em solução diminuiu mais de 20 vezes se comparado com os valores obtidos em ar. Isto se deve a remoção do menisco, que é a responsável pelo efeito capilar nas medidas de curva de força em ar, restando somente a componente de van der Waals da força de adesão.

A variabilidade da força de adesão numa região da amostra para o quartzo e para o silício estão mostrados na Fig. 9. Observou-se que o valor da variabilidade foi de 20% e 25% para o silício e para o quartzo, respectivamente, apresentando variabilidades semelhantes àquelas obtidas em ar, para uma região de 1 m^2 . Esse fenômeno sugere a influência da topografia na força de adesão. A maior variabilidade apresentada pelo quartzo se deve a sua alta rugosidade para essa região, ou seja, $R_s \geq 13 \text{ \AA}$, o que fornece mudanças na área de contato entre a agulha e a amostra por causa das variações na curvatura da superfície.

A Fig. 10 apresenta os valores de força de adesão obtidos para os três substratos em dois ambientes diferentes, separando as duas principais contribuições para a força de adesão: a força de van der Waals e a força capilar. Os gráficos mostram que a força capilar é a

que possui a maior contribuição para as amostras expostas ao ar. A diferença de forças capilares entre as amostras se deve a espessura da camada de água adsorvida em suas superfícies [8].

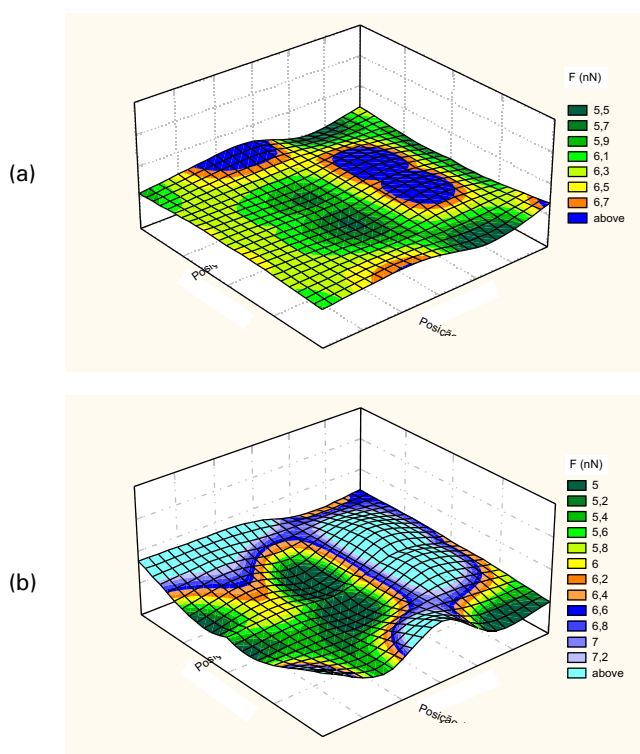


Fig. 9- Mapa de adesão para superfície de silício (a) e quartzo (b). O valor da força de adesão ficou em torno de $(5,9 \pm 1,2)$ nN e $(6,1 \pm 1,5)$ nN para o silício e quartzo, respectivamente.

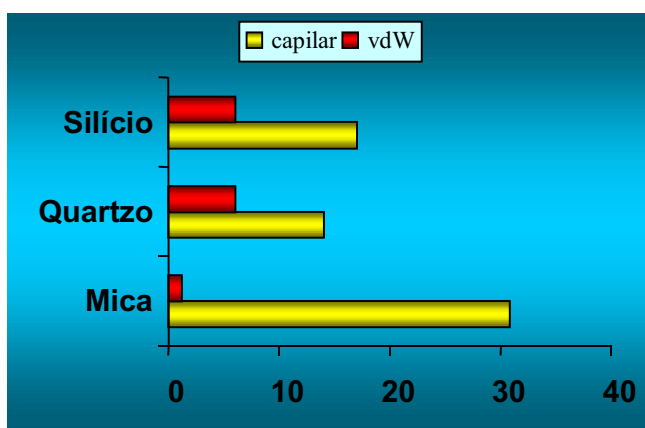


Fig. 10. Componentes da força de adesão para os três substratos (quartzo, silício e mica).

A Fig. 10 mostra que a força adesiva em ar é independente do tipo de substrato. Visto que a energia de superfície do quartzo e do silício expostas ao ar são menores que a tensão superficial da água, a energia de superfície desses sólidos não afeta a adesão do efeito capilar. No entanto, quando se trabalha em líquidos, essa camada de água deixa de agir sobre a ponta, e têm-se assim, uma interação somente sólido-sólido.

Em relação à influência da rugosidade na força de adesão, pode-se confirmar, como mostrado no gráfico da Fig. 11, que a rugosidade é responsável pelos desvios percentuais apresentados nas medidas pontuais. Observa-se que a variabilidade não se modificou significativamente com a mudança de ambiente. Exceto para o quartzo onde se tem a influência de contaminantes.

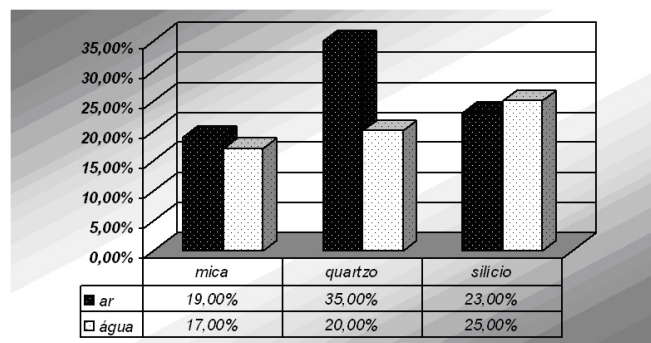


Fig. 11. Histograma da variabilidade das amostras nos dois ambientes.

Conclusões

Observou-se que a aplicação da técnica de curva de força na caracterização de forças de adesão em superfícies de materiais, é relativamente eficaz para investigar alguns fatores que influenciam diretamente na medida da adesão e quantificar esses valores com uma boa precisão (coeficiente de variação $\leq 35\%$). Assim ficou evidenciado que a técnica de microscopia de força atômica é uma poderosa ferramenta na análise da nano interação entre superfícies. O AFM pode investigar as interações micro e nano-adesivas entre superfícies sólidas por meio de curvas de força, de forma a fornecer informações da energia de superfície e forças de adesão locais.

Mostrou-se a dependência da adesão com a rugosidade da superfície e a heterogeneidade do material, através de uma metodologia adequada, em que as variações pontuais em dois meios diferentes, ar e líquido, puderam mostrar essa característica com uma diferença menor que 10%. As medidas realizadas em ambiente de umidade relativa em torno de 50% e em solução (água) mostraram que a força capilar na nanoescala tem a maior contribuição para as interações adesivas. As forças de adesão medidas em água é composto principalmente da componente de van der Waals. Mas dependendo das características da superfície da amostra, várias outras forças aparecem, tais como, forças de dupla camada e forças hidrofóbicas. Desta forma pode-se reunir informações sobre as propriedades da superfície da amostra, como: hidroflicidade e cargas superficiais. Os resultados experimentais de força de adesão em solução para a mica muscovita, quartzo e silício ficaram de acordo com os modelos teóricos de DMT, JKR e Maugis, com um desvio de no máximo 49%. As morfologias não-ideais das superfícies é a razão mais comum para as diferenças drásticas das medidas experimentais dos resultados teóricos. A comparação dos resultados experimentais em ar com os modelos teóricos puderam revelar o grau de hidrofobicidade das amostras de mica muscovita, que apresentaram os seguintes intervalos de ângulo de contato: $40^\circ \leq \leq 64^\circ$, o que caracteriza um material hidrofóbico.

Referências Bibliográficas

- ¹ ZANETTE, S. I. **Funcionamento de um microscópio de força atômica**. Disponível em: <http://www.cbpf.br/~nanos/Apostila/>. Acesso em: 23 nov. 2005.
- ² WIESENDANGER, R. *Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy Methods and Applications*. Cambridge: University Press, 1994. 637p.
- ³ ROTSCH, C. H.; RADMACHER, M. Mapping Local Electrostatic Forces with the Atomic Force Microscope *Langmuir*, Washington, v.13, p.2825, 1997.
- ⁴ AOKI, T.; HIROSHIMA, M.; KITAMURA, K.; TOKUNAGA, M.; YANAGIDA, T. Non-contact scanning probe microscopy with sub-piconewton force sensitivity. *Ultramicroscopy*,. Amsterdam, v. 70, p.45-55, 1997.
- ⁵ MAGALHÃES, J. L.; MOREIRA, L. M.; RODRIGUES-FILHO, U. P.; GIZ, M. J.; SILVA, M. A. P.; LANDERS, R.; VINHAS, R. C. G.; NASCENTE, P. A. P. Surface chemistry of iron tetraazamacrocycle on the aminopropyl-modified surface of oxidized n-Si(100) by AFM and XPS. *Surface and Interface Analysis*, London, v. 33, n. 4, p.293-298, 2002.
- ⁶ ZHANG, B.; NAKAJIMA, A. Nanometer Deformation Caused by the Laplace Pressure and the Possibility of Its Effect on Surface Tension Measurements, *Journal of Colloid and Interface Science*, New York, v. 211, n. 1, p.114-121, 1999.
- ⁷ LEITE, F. L.; RIUL JR, A.; HERRMANN, P. S. P. Mapping of adhesion forces on soil minerals in air and water by atomic force spectroscopy (AFS). *Journal Of Adhesion Science And Technology*, Utrecht, v.17, n. 16, p.2141-2156, 2003.
- ⁸ LEITE, F. L.; HERRMANN, P. S. P. Application of atomic force spectroscopy (AFS) to studies of adhesion phenomena: a review. *Journal Of Adhesion Science And Technology*, Utrecht. v. 19, n. 3-5, p. 365-405, 2005.

Comunicado Técnico, 70

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1542 - Caixa Postal 741
CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: 16 3374 2477
Fax: 16 3372 5958
E-mail: sac@cnpdia.embrapa.br
www.cnpdia.embrapa.br

1a. edição
1a. impressão 2005: tiragem 300

Comitê de Publicações

Presidente: Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz
Secretária Executiva: Valéria de Fátima Cardoso
Membros: Dra. Débora Marcondes B. P. Milori,
Dr. João de Mendonça Naime,
Dr. Washington Luiz de Barros Melo

Membro Suplente: Dr. Paulo S. P. Herrmann Junior

Expediente

Supervisor editorial: Dr. Victor Bertucci Neto
Revisão de texto: Dr. Victor Bertucci Neto
Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso
Tratamento das ilustrações: Valentim Monzane
Editoração eletrônica: Valentim Monzane