

O mundo dos colóides

Miguel Jafelicci Junior
Laudemir Carlos Varanda

A seção “Química e Sociedade” apresenta artigos que focalizam aspectos importantes da interface ciência/sociedade, procurando, sempre que possível, analisar o potencial e as limitações da ciência na tentativa de solução de problemas sociais. Este artigo discute o que são colóides, quais são seus tipos, como deixam de ser estáveis e como aparecem em nosso dia-a-dia e em diferentes aplicações tecnológicas.

► colóides, dispersões coloidais, misturas ◀

Colóides são misturas heterogêneas de pelo menos duas fases diferentes, com a matéria de uma das fases na forma finamente dividida (sólido, líquido ou gás), denominada fase dispersa, misturada com a fase contínua (sólido, líquido ou gás), denominada meio de dispersão. A ciência dos colóides está relacionada com o estudo dos sistemas nos quais pelo menos um dos componentes da mistura apresenta uma dimensão no intervalo de 1 a 1000 nanômetros ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Soluções de macromoléculas são misturas homogêneas e também são consideradas colóides porque a dimensão das macromoléculas está no intervalo de tamanho coloidal e, como tal, apresentam as propriedades características dos colóides. Os sistemas coloidais vêm sendo utilizados pelas civilizações desde os primórdios da humanidade. Os povos utilizaram géis de produtos naturais como alimento, dispersões de argilas para fabricação de utensílios de cerâmica e dispersões coloidais de pigmentos para decorar as paredes das cavernas com motivos de animais e de caça.

Graham, em 1861, introduziu os termos *colóide* e *diálise* em um estudo sobre a difusão da matéria nos estados gasoso e líquido. O termo colóide, do

grego, significa cola e na época referiu-se às soluções de goma arábica, substância sem estrutura definida e de natureza viscosa hoje conhecida como macromolécula. A goma arábica (colóide) difundia mais lentamente que soluções de sais (cristalóide). Diálise é o processo de separação através do qual moléculas menores atravessam uma membrana semipermeável enquanto as moléculas maiores ou partículas coloidais são retidas pela mesma membrana.

Sistemas coloidais estão presentes no cotidiano desde as primeiras horas do dia, na higiene pessoal — sabonete, xampu, pasta de dente e espuma ou creme de barbear —, maquiagem, — cosméticos —, e no café da manhã, — leite, café, manteiga, cremes vegetais e geléias de frutas. No caminho para o trabalho podemos enfrentar neblina, poluição do ar ou ainda apreciar a cor azul do céu, parcialmente explicada pelo espalhamento Rayleigh da luz do Sol ao entrar na atmosfera contendo moléculas e partículas de poeira cósmica atraídas pela Terra (Walker, 1989). No almoço, temperos, cremes e maionese para saladas. No entardecer, ao saborear cerveja, refrigerante ou sorvete estamos ingerindo colóides. Os colóides ainda estão presentes em diversos processos de

produção de bens de consumo, incluindo o da água potável, os processos de separação nas indústrias, de biotecnologia e de ambiente. São também muito importantes os colóides biológicos, tais como o sangue, o humor vítreo e o cristalino (Licínio e Delaye, 1987).

Propriedades dos colóides

Os princípios relacionados com os diferentes sistemas coloidais da Tabela 1 baseiam-se em propriedades comuns a todos os colóides: tamanho e elevada relação área/volume de partículas (Shaw, 1975). As partículas dispersas podem ter tamanhos diferentes e por isso o sistema coloidal é denominado polidisperso. Na prática, a maioria dos colóides obtidos pelo homem é polidispersa. Os sistemas com partículas de um mesmo tamanho são monodispersos. As macromoléculas de proteínas sintetizadas biologicamente têm todas um mesmo tamanho e massa molecular, por isso dão origem a colóides monodispersos. Diversos pesquisadores obtiveram colóides monodispersos de polímeros sintéticos, de metais, de óxidos metálicos e de cloreto de prata.

Como a área de superfície da fase dispersa é elevada devido ao pequeno tamanho das partículas, as propriedades da interface entre as duas fases — dispersa e de dispersão — determinam o comportamento dos diferentes sistemas coloidais. Em soluções verdadeiras de macromoléculas ou em dispersões coloidais de partículas finas, o solvente pode ser retido pela configuração da cadeia macromolecular ou das partículas. Quando todo o solvente é imobilizado nesse processo, o colóide enrijece e é chamado de gel.

Fundadores da química dos colóides

Thomas Graham (1805-1869), escocês de Glasgow, químico contra a vontade do pai e por isso deserddado, sustentou seus estudos escrevendo e ensinando química no Andersonian College (atual Royal College of Science and Technology) em Glasgow (1830-1837). Lecionou depois na Universidade de Londres (1837-1869) e tornou-se posteriormente chefe da casa da moeda britânica (1854-1869). Após seu trabalho sobre a lei de velocidade de difusão dos gases (1829), examinou também a difusão entre líquidos e denominou cristalóides as partículas com alta difusão, como as de sais, e colóides aquelas com baixa difusão, como as da goma arábica. Divide o reconhecimento como 'pai dos colóides' com Francesco Selmi, químico toxicologista italiano, professor em Turim e Modena, antes de assumir o posto de professor de química farmacológica e toxicologia na famosa Universidade de Bolonha, em 1867. Entre 1845 e 1850, Selmi escreveu sobre o estudo sistemático dos colóides inorgânicos, principal-

mente cloreto de prata, azul da Prússia e enxofre, sistemas importantes para fotografia, tingimento de tecidos e farmacologia, respectivamente. Escreveu a primeira enciclopédia de química em italiano, de 1868 a 1881 (Encyclopaedia Britannica, 1996). Outro pesquisador que contribuiu para a química dos colóides foi Carl Wilhelm Wolfgang Ostwald (1883-1943), químico alemão, professor e pesquisador na Universidade de Leipzig em 1935 e filho de Friedrich Wilhelm Ostwald (Laidler, 1993). Grande divulgador da química dos colóides, com trabalhos sobre propriedades elétricas e ópticas dos mesmos, Ostwald foi editor da revista *Kolloidchemische Beihefte* em 1909 e fundador da Sociedade de Colóides (*Kolloid Gesellschaft*) no mesmo ano. Escreveu o livro *O mundo das dimensões desprezadas*, sobre a natureza dos sistemas complexos contendo partículas grandes, se comparadas com a dimensão da molécula, porém pequenas se comparadas com uma suspensão de partículas visíveis a olho nu.

tículas dispersas simultaneamente às interações de superfície. Portanto, esses sistemas de partículas coloidais precisam de um modelo sistematizado para explicar a influência das interações na estabilidade cinética e termodinâmica do colóide. Por exemplo, a produção de pó cerâmico ou de látex de polímero com partículas uniformes de igual tamanho requer o conhecimento idealizado para prever a reprodução das propriedades dos respectivos sistemas coloidais.

Esse modelo do sistema coloidal pressupõe muitos equilíbrios químicos nas fases, ocorrendo processos dependentes do tempo e que resultam na agregação de partículas de uma dispersão sólido-líquido ou na coalescência de gotas de uma emulsão. Essas unidades cinéticas (partículas/gotas) podem permanecer estáveis e constantes com o tempo devido à afinidade entre a superfície da partícula e o solvente. Na ciência dos colóides, o sistema é classicamente denominado colóide liofílico (do grego *lyein* = solvente + *philein* = gostar de). No entanto, se as unidades cinéticas não permanecerem estáveis com o tempo devido às interações entre elas e vierem a agregar-se, formarão unidades maiores que se sedimentam sob a ação do campo gravitacional, separando assim a fase dispersa da contínua. Esse sistema é também classicamente conhecido como colóide liofóbico (repulsão ao solvente — *phobos* = repelir). Assim, existem colóides estáveis por muitos anos, enquanto em outros as fases constituintes separam-se em pouco tempo. Por exemplo, os sóis de ouro obtidos por Michael Faraday em 1864 permanecem estáveis até hoje e estão expostos na Royal Society of Chemistry em Londres. Já a poeira levantada pelo trânsito assenta rapidamente.

As dispersões coloidais aquosas são também sensíveis à presença de eletrólitos e de polieletrólitos (polímeros carregados de alta massa molecular). As partículas coloidais podem agregar-se irreversivelmente na presença de eletrólitos e resultar em agregados grandes e compactos (coágulos) por um processo denominado coagulação, enquanto na presença de polieletrólitos pode haver a formação de agregados menos densos (flóculos), os quais podem ser facilmente rompidos e redispersos por agitação vigorosa (cisalhamento). A coagulação do leite, por exemplo, resulta da adição de vinagre (eletrólito) e a eliminação de resíduos da água de piscina por sulfato de alumínio (forma polieletrólito na água) é feita após a floculação.

Interação entre partículas coloidais

As interações entre partículas coloidais governam as propriedades dos

As diferentes interações entre as fases dispersa (partículas) e a de dispersão (contínua) constituem um dos pontos críticos do comportamento e da estabilidade dos colóides. As propriedades físicas e químicas de ambas as fases controlam essas interações. Tais interações da superfície incluem as coulombianas de repulsão eletrostática, as de atração de van der Waals, as de repulsão estérica e as de solvatação. Forças hidrodinâmicas (difusão) também atuam no sistema de multipar-

Tabela 1: Classificação dos colóides de acordo com as fases dispersa e de dispersão.

Colóide	Fase dispersa	Fase de dispersão	Exemplo
Aerossol líquido	Líquido	Gás	Neblina, desodorante
Aerossol sólido	Sólido	Gás	Fumaça, poeira
Espuma	Gás	Líquido	Espuma de sabão e de combate a incêndio
Espuma sólida	Gás	Sólido	Isopor®, poliuretana
Emulsão	Líquido	Líquido	Leite, maionese, manteiga
Emulsão sólida	Líquido	Sólido	Margarina, opala, pérola
Sol	Sólido	Líquido	Tinta, pasta de dente
Sol sólido	Sólido	Sólido	Vidro e plástico pigmentado

colóides e dependem da distância de separação e da quantidade de partículas coloidais dispersas. As forças externas devidas ao campo da gravidade ou ao cisalhamento também influenciam a interação e as colisões entre partículas. Essas forças de interação entre as superfícies das partículas coloidais advêm da natureza eletromagnética das interações entre a matéria. Nas dispersões coloidais aquosas pode haver: 1) interação repulsiva de duplas camadas de cargas, 2) interação atrativa de van der Waals, 3) interação estérica repulsiva de cadeias de polímeros adsorvidos nas partículas, 4) interação atrativa de polímeros, 5) interação de moléculas de solvente (solvatação) e 6) interação hidrofóbica. As partículas coloidais adquirem cargas elétricas na superfície, quando expostas ao contato com solvente polar, por diferentes mecanismos, tais como: dissociação de grupos da superfície e adsorção ou dissolução de íons da superfície. Por isso o equilíbrio químico entre os prótons e a superfície de óxidos é relevante para

compreender o comportamento de dispersões aquosas. A carga da superfície da partícula influencia a distribuição dos íons da solução na vizinhança, atraindo e repelindo contra-íons e co-íons, respectivamente. Essa distribuição de íons desde a superfície da partícula até o interior da solução (meio de dispersão) gera diferentes potenciais e está representada esquematicamente na Figura 1. O potencial da interfase entre a superfície da partícula e o interior da solução do meio de dispersão diminui mais rapidamente à medida que aumenta a força iônica, porque a dupla camada de cargas que se forma ao redor da partícula é comprimida em direção à superfície pela concentração de íons da solução. Portanto, as propriedades elétricas dos colóides são governadas pelas interações repulsivas coulombianas.

No entanto, essa energia de repulsão entre as partículas não garante a estabilidade das partículas dispersas. Por isso, na prática, dispersões coloidais podem agregar-se e os agregados sedimentam-se rapidamente, como por exemplo no caso da dispersão de argila em água. As interações atrativas de curto alcance de van der Waals induzem à agregação do sistema à

medida que as superfícies das partículas se aproximam umas das outras. Essas forças de curto alcance são as mesmas provenientes da polarização de átomos e moléculas (dipolos) constituintes dos sólidos dispersos no meio polar que separa as partículas. Portanto, a energia total de interação (V_T) é a soma resultante das energias de repulsão (V_R) e de atração (V_A) indicada na Figura 2.

Esta é base da teoria DLVO, desenvolvida independentemente por Derjaguin e Landau e Verwey e Overbeek, no final da década de 40, para explicar a estabilidade cinética coloidal. A partir dos modelos e da formulação dessa teoria, o estudo dos colóides passou a ser considerado com maior rigor científico.

Sistemas Coloidais

Os tipos de colóides da Tabela 1 são descritos a seguir com as respectivas aplicações tecnológicas.

Sol é um colóide constituído de partículas sólidas finamente divididas dispersas em um meio de dispersão líquido. Outras denominações – hidrossol, organossol ou aerossol – são atribuídas segundo o meio de dispersão utilizado: água, solvente orgânico ou ar, respectivamente. Quanto à interação entre as moléculas da fase contínua e da fase dispersa, os sóis são classificados em liofílicos, que apresentam partículas dispersas com maior

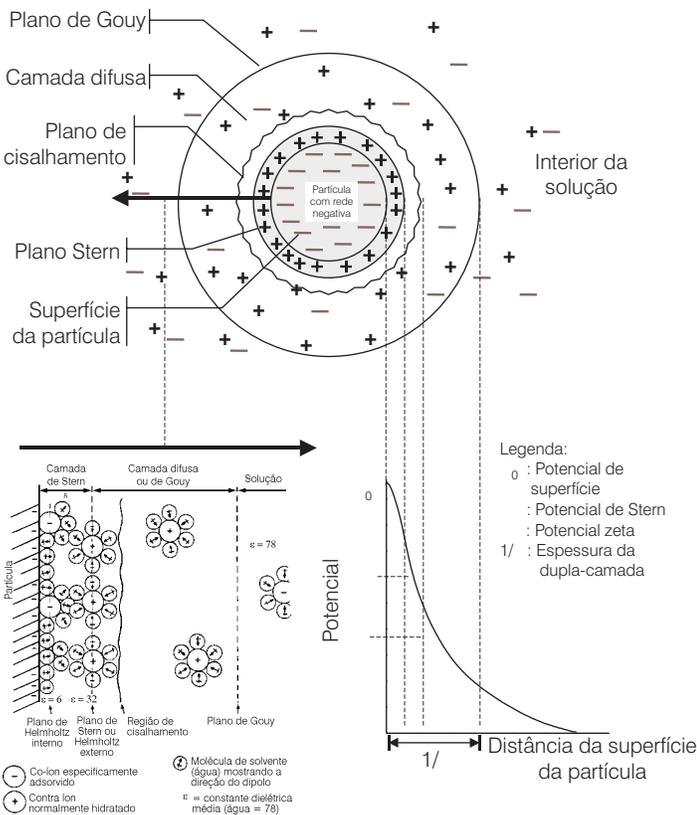


Figura 1. Esquema da distribuição de cargas na vizinhança de uma partícula carregada e os respectivos potenciais associados à dupla camada elétrica na interface sólido-líquido.

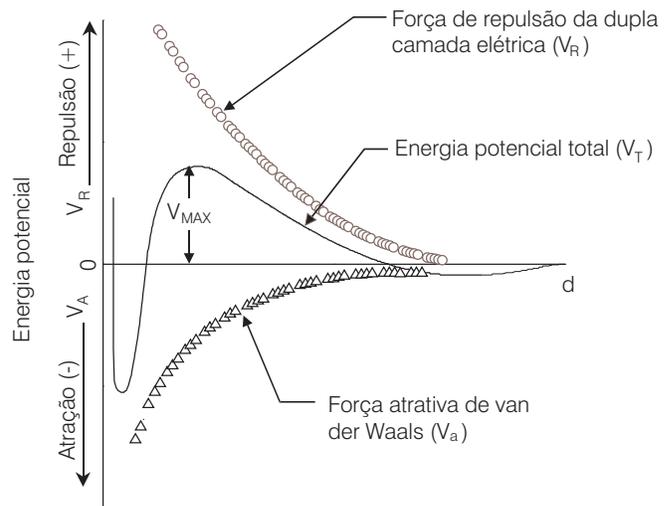


Figura 2. Energia potencial (V) de interação partícula-partícula em função da distância (d) de separação entre duas partículas coloidais.

afinidade com o solvente, são mais estáveis e semelhantes à solução verdadeira, e liofóbicos, cujas partículas não atraem fortemente as moléculas de solvente e coagulam ou precipitam facilmente. Essas dispersões coloidais mais concentradas formam sistemas mais viscosos denominados *pastas*, utilizadas, por exemplo, na fabricação de creme dental.

Gel é um colóide no qual a interação do líquido com partículas muito finas induz o aumento da viscosidade, tornando-se uma massa com partículas organizadas no meio de dispersão formando uma rede de partículas enfileiradas como um colar. Esses colóides formam uma rede com natureza elástica e gelatinosa, tal como gelatina ou geléia de frutas, ou como um sólido rígido como sílica gel, muito usada em embalagens como agente secante. Géis podem contrair e eliminar o solvente, processo este denominado de sinérise.

Espuma é um sistema coloidal constituído de bolhas de gás muito pequenas dispersas em um meio líquido, como no caso da espuma de sabão, ou em um meio sólido, como a espuma de poli(estireno) conhecida

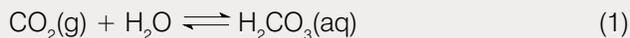
como isopor®. As bolhas podem coalescer, isto é, colidirem umas com as outras, e do encontro de duas formar uma bolha maior. Esse processo de coalescência causa a quebra da espuma, o que determina a instabilidade do sistema coloidal. É por isso que as espumas de combate a incêndio são feitas com bolhas de gás carbônico provenientes de carbonato de sódio e sulfato de alumínio e estabilizadas com proteínas (sangue seco, gomas) ou mais recentemente substâncias tensoativas, conhecidas como detergentes, que previnem a coalescência (Figueiredo *et al.*, 1999; Ferreira, 1999). As proteínas são bons estabilizantes de espumas em alimentos, tais como clara de ovo batida em neve, *marshmallow* e creme chantili. Por outro lado, espumas podem ser indesejáveis; por exemplo, os efluentes de matadouros não-tratados adequadamente contêm grande quantidade de proteínas (sangue, tecidos animais) que, se despejados nos rios, podem misturar-se com água contendo detergentes e formar espuma devido à correnteza, causando transtornos ambientais. Há alguns anos, em Bom Jesus de Pirapora (SP), a espuma muito

estável formada cobria a ponte sobre o rio Tietê. No entanto, espumas podem ser quebradas pela adição de álcoois ou de formulações à base de óleo de silicone.

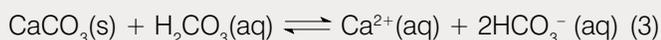
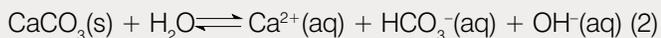
Detergentes são substâncias sintéticas com propriedades tensoativas, isto é alteram a tensão interfacial quando dissolvidas em um solvente. A tensão interfacial está relacionada com o trabalho necessário para manter as moléculas de uma fase na superfície ou interface, permitindo, por exemplo, que a libélula pouse sobre a superfície da água sem romper a película de água da superfície. Também denominados surfactantes (do inglês *surface active agents = surfactants*), detergentes não são obtidos da saponificação de óleo e gordura, tal como é o sabão. As moléculas associam-se em solução, acima de uma determinada concentração crítica para cada detergente; por isso são também conhecidos como colóides de associação. Da associação das moléculas de detergente resultam as micelas, agregados moleculares na faixa de tamanho dos colóides. Usados principalmente para limpeza na cozinha e para lavar roupas, os detergentes são aplicados também em meio orgânico em óleos

Colóides naturais

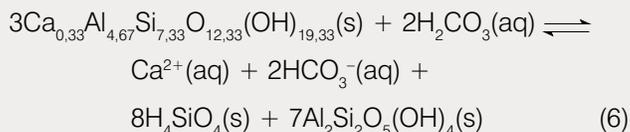
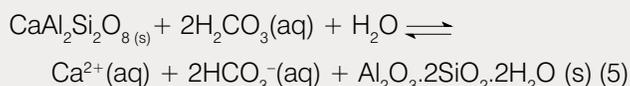
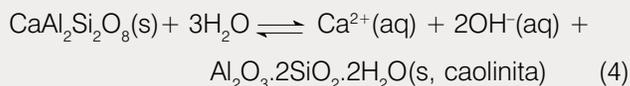
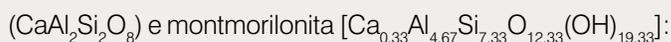
Águas naturais e solo contêm muitos materiais dispersos de dimensões coloidais, desde argilominerais solubilizados das rochas até macromoléculas tais como ácidos húmicos provenientes da matéria orgânica de células vegetais e animais (Ottewill, 1998). Esses colóides naturais originam-se dos processos químicos e biológicos da natureza. Diversos equilíbrios químicos ocorrem nas águas que lavam as rochas e nos solos. O primeiro equilíbrio ocorre entre o gás carbônico do ar que se dissolve nas águas naturais:



O ácido carbônico formado, em contato com sulfato de cálcio (usualmente conhecido como gesso - equação 2) e carbonato de cálcio (conhecido como calcita - equação 3), presentes no solo, pode originar íons que interferem na estabilidade coloidal, atuando na camada de cargas da superfície da partícula coloidal:



Equilíbrios semelhantes ocorrem entre água e feldspato ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) presente no granito, feldspato alcalino



Esses equilíbrios são controlados nos rios pelo sistema tampão $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^{-}$, que por sua vez ajusta o pH (concentração de íon hidroxônio) das águas naturais. À medida que o rio (água doce) chega ao estuário, encontra água do oceano de concentração salina muito elevada (eletrolito) e as partículas coloidais de argilominerais e ácidos húmicos dispersas coagulam, formando maior quantidade de depósito sedimentado e contribuindo para a formação dos deltas.

lubrificantes de motores e em gasolina, prevenindo, respectivamente, o acúmulo de resíduos de carvão nos pistões e o crescimento de gomas (polímeros) no carburador.

Emulsão e microemulsão são dispersões coloidais de um líquido em outro, geralmente estabilizadas por um terceiro componente tensoativo (emulsificante) que se localiza na interface entre as fases líquidas. Entre os emulsificantes mais usados pode-se citar proteínas (ovoalbumina, caseína), gomas (gelatina), sabões e detergentes, argilas e óxidos hidratados. Há dois tipos de emulsão, conforme a proporção das fases: água em óleo, com gotículas de água dispersas na fase contínua óleo, e óleo em água, gotículas de óleo dispersas em água. O termo óleo refere-se à fase orgânica e água à fase aquosa. Esse sistema coloidal é vastamente utilizado na apresentação de produtos farmacêuticos (cremes), alimentícios (maionese, margarina, leite), industriais (petróleo, lubrificantes, asfalto). Além da proporção das fases aquosa e orgânica, a natureza hidrofóbica/hidrofílica do emulsificante determina a formação de emulsão água/óleo ou óleo/água. Diferentes fenômenos ocorrem em emulsão, tais como: i) cremeação (*creaming*), que resulta da flutuação das gotas dispersas para a superfície da emulsão; ii) coagulação das gotas, que causa a formação de agregados constituídos de gotas individuais, processo este que também aumenta o creme, iii) coalescência das gotas individuais, que formam gotas maiores até estender a fase finamente dispersa a ponto de quebrar a emulsão. Exemplo de coalescência é a coagulação das gotas de gordura pela ação de ácido acético (vinagre) seguida da precipitação de caseína (proteína do leite).

Tratamento de água. O processo de floculação de partículas coloidais de argilominerais dispersas na água bruta dos mananciais que chega às estações de tratamento de água das cidades foi descrito no item "Interação entre partículas coloidais". Numa primeira etapa, o pH da água é ajustado com hidróxido de cálcio (cal) e adicionada a solução de sulfato de alumínio. Em solução alcalina, o sulfato de alumínio reage com íons hidroxila, resultando em polieletrólitos

de alumínio e hidroxila (poliecátions) com até 13 átomos de alumínio. Esses polieletrólitos de alumínio atuam pela interação eletrostática com partículas de argila carregadas negativamente e pelas ligações de hidrogênio devido ao número de grupos OH, formando uma rede com microestrutura porosa (flóculos) que, após a decantação do precipitado, facilita a passagem da água no processo de filtração com filtro de cascalho/areia/antracito (carvão mineral).

Considerações finais

A química dos colóides está bastante relacionada com o dia-a-dia do cidadão e os sistemas coloidais tanto são encontrados na natureza, nos reinos mineral, vegetal e animal, como podem ser sintetizados para o bem-estar do homem na forma de bens de consumo e para processos industriais que propi-

ciam melhores condições de vida. O estudo dos colóides também pode ajudar a evitar a formação desses sistemas na natureza, quando poluem o ar (fumaça), a água (esgoto doméstico e industrial) e os solos (resíduos sólidos). Apesar de a química dos colóides ter respostas para muitas dessas questões ambientais, é a participação dos cidadãos bem informados nos diversos aspectos da vida social que poderá assegurar uma melhor qualidade de vida para todos.

Miguel Jafellici Junior, bacharel em química pela Universidade Estadual Paulista (Unesp), mestre em química de colóides e de superfícies pela Universidade de Bristol, Inglaterra, e doutor em ciências (físico-química) pela USP, é docente do Instituto de Química da Unesp no Campus de Araraquara.

Laudemir Carlos Varanda é bacharel e mestre em química pela Unesp - Araraquara, onde é aluno do curso de doutorado (área de físico-química) do programa de pós-graduação em química.

Referências bibliográficas

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA INC., 1996 (CD-ROM), file ://c:/EB/_12.htm

FERREIRA, A.M. A ciência da bolha de sabão, *Ciência Hoje das Crianças*, n. 88, p. 8-11, jan/fev 1999.

FIGUEREDO, R.C.R.; RIBEIRO, F.A.L. e SABADINI, E. Ciência de espumas - aplicação na extinção de incêndios. *Química Nova*, v. 22, n. 1, p. 126-130, 1999.

LAIDLER, K.J. *The world of physical chemistry*. Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 292.

LICÍNIO, P. e DELAYE, M. Da catarata aos colóides, *Ciência Hoje*, v. 6, n. 33, jul/1987, p. 13.

OTTEWILL, G. The colloid chemistry of natural waters. *Education in Chemistry*, p.160-162, nov. 1998.

SHAW, D.J. *Introdução à química de colóides e de superfícies*. Trad. de J.H. Maar. São Paulo: Edgard Blucher/Edusp, 1975.

WALKER, J. The colors seen in the sky offer lessons in optical scattering. *Scientific American*, p. 84-87, jan. 1989. <http://www.woodrow.org/teachers/ci/1992/graham.html>, maio 1999.

Páginas na internet

1. SCHRAMM, L.L. <http://www.acs.ucalgary.ca/~schramm>. Universidade de Calgary, Calgary, Alberta, Canadá T2N 1N4, maio 1999.

2. HUIBERS, P. <http://www.surfactants.net>, Instituto de Tecnologia de Massachusetts, Departamento de Química, maio 1999.

3. KETTLE, P.A. <http://www.foamman.com>, livro sobre espumas, maio 1999.

4. SOAP AND DETERGENT ASSOCIATION, <http://www.sdahq.org>, maio 1999.

5. PETROLEUM RECOVERY INSTITUTE, <http://www.pri.ab.ca>, maio 1999.

6. VINCENT, B., Departamento de Química da Universidade de Bristol, Colóides e superfícies, <http://www.bristol.ac.uk/Depts/Chemistry/mcsurf.htm>, maio 1999.

Para saber mais

1. ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, v. 4, p. 853, Chicago, 1977.

2. ENCICLOPÉDIA BARSA, Enciclopédia Britânica do Brasil Publicações, 1996.

3. ENCICLOPÉDIA DE QUÍMICA TECNOLÓGICA, Kirk Othmer, 3. ed, CD-ROM.

4. PERUZZO, T.M. e CANTO, E.L. do. *Química na abordagem do cotidiano*. 2. ed. São Paulo: Editora Moderna, 1998.