

LSO 410 Gênese, Morfologia e Classificação de Solos

Prof. Antonio Carlos de Azevedo

MINERALOGIA DO SOLO

O sistema solo é um sistema fundamental para a sobrevivência e evolução das espécies nos ecossistemas terrestres. O solo é peça-chave no fluxo de elementos químicos (tanto dos nutrientes quanto do Alumínio), da água e de fluxos de calor.

Grande parte destas características tão especiais é resultado da REATIVIDADE do solo. A reatividade do solo é composta por uma infinidade de tipos de reações (oxidação, redução, dissolução, precipitação, ciclos metabólicos, etc). No entanto, a principal reação do solo é a ADSORÇÃO. Pode-se conceituar a adsorção como a ligação FRACA e REVERSÍVEL de elementos químicos de uma fase fluida (líquido ou gás) em uma superfície sólida carregada eletricamente.

Uma vez que o solo é um sistema trifásico, pois possui as fases sólida, líquida e gasosa, a adsorção ocorre constantemente no solo e regula o fluxo de nutrientes e Al para a planta.

O solo funciona como um reservatório de elementos químicos porque a adsorção é REVERSÍVEL, isto é, mesmo após um íon ser adsorvido ao solo, ele pode retornar a fase líquida do solo pela DESSORÇÃO, que é o inverso da adsorção.

A adsorção/dessorção de um íon no solo obedece ao equilíbrio químico entre a fase sólida (que são as partículas do solo) e a fase líquida. Este equilíbrio é muito deslocado para a fase sólida, isto é, existem muito mais íons adsorvidos na fase sólida do que dessorvidos na fase líquida. Porém, sempre que a concentração da fase líquida diminui (devido à lixiviação ou à absorção pelas plantas) a fase sólida dessorve mais íons para manter o equilíbrio químico entre a fase sólida/líquida.

Observe que embora o termo adsorção e absorção sejam parecidos, representam processos físico-químicos muito diferentes! (Se você tem dúvidas peça a um monitor para lhe explicar!).

Portanto, entender a reatividade do solo, principalmente a adsorção-dessorção, é essencial para todo o profissional cuja atuação envolve o solo e sua interação com as plantas e/ou com o fluxo de elementos no (agro)ecossistema como, por exemplo, aplicação de adubos ou resíduos no solo.

Mas afinal onde reside a reatividade do solo?

Na FRAÇÃO ARGILA, isto é, nas partículas com diâmetro menor que 2µm.

Embora existam partículas minerais e orgânicas nesta fração, em solos minerais (que são os que predominam) a fração mineral é dominante.

Por isto, é fundamental conhecermos os tipos de minerais de argila, e as suas propriedades que se refletem no comportamento do solo.

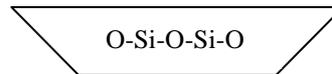
Na fração argila dos solos, dois grupos de minerais são os mais abundantes:

- Os filossilicatos de alumínio;
- Os óxidos (“óxidos” são usados como um termo genérico para designar os óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos).

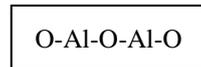
Filossilicatos de Alumínio

Estes minerais são compostos pela combinação de lâminas de Si+O (silício + oxigênio) com lâminas de Al+O (alumínio + oxigênio). Estas lâminas têm espessura de apenas alguns átomos, geralmente na ordem de poucos nanômetros (10^{-9} m).

Você pode imaginar estas lâminas como as peças de um jogo de LEGO. Imagine as lâminas de Si como trapézios:



E as lâminas de Al como retângulos:



Estas lâminas ou peças podem ser combinadas, basicamente, de duas maneiras:

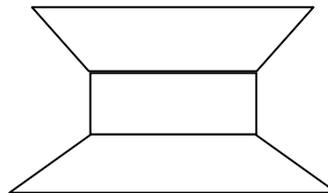
1) 1 lâmina de Si e 1 lâmina de Al



Formando uma camada 1:1

Observe que, aqui, os termos “lâmina” e “camada” têm significados bem específicos e NÃO podem ser usados como sinônimos.

2) 2 lâminas de Si e 1 lâmina de Al:



Formando uma camada 2:1

As partículas de filossilicatos são formadas pelo “empilhamento” de centenas, e às vezes milhares, destas camadas (veja o trabalho de Almeida et al., 1992).

Os filossilicatos de alumínio, por isto, são definidos em dois grupos principais:

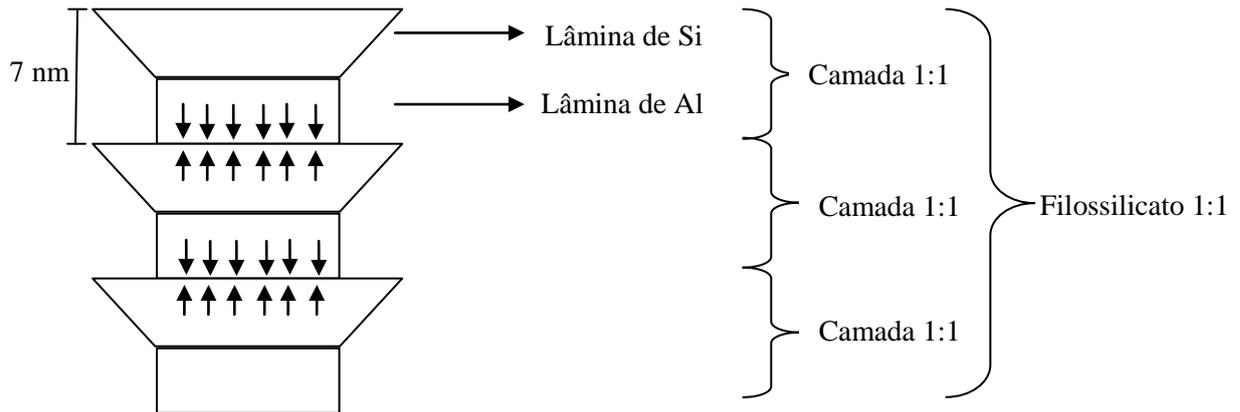
1. Os filossilicatos 1:1

2. Os filossilicatos 2:1

As propriedades dos minerais destes dois grupos são muito diferentes: quantidade e tipo de CTC, área superficial específica, etc.

Como existe atração entre as lâminas de Si e Al, mas não entre duas lâminas de Si, os minerais 1:1 não se “expandem” nas condições encontradas em solos.

Veja:



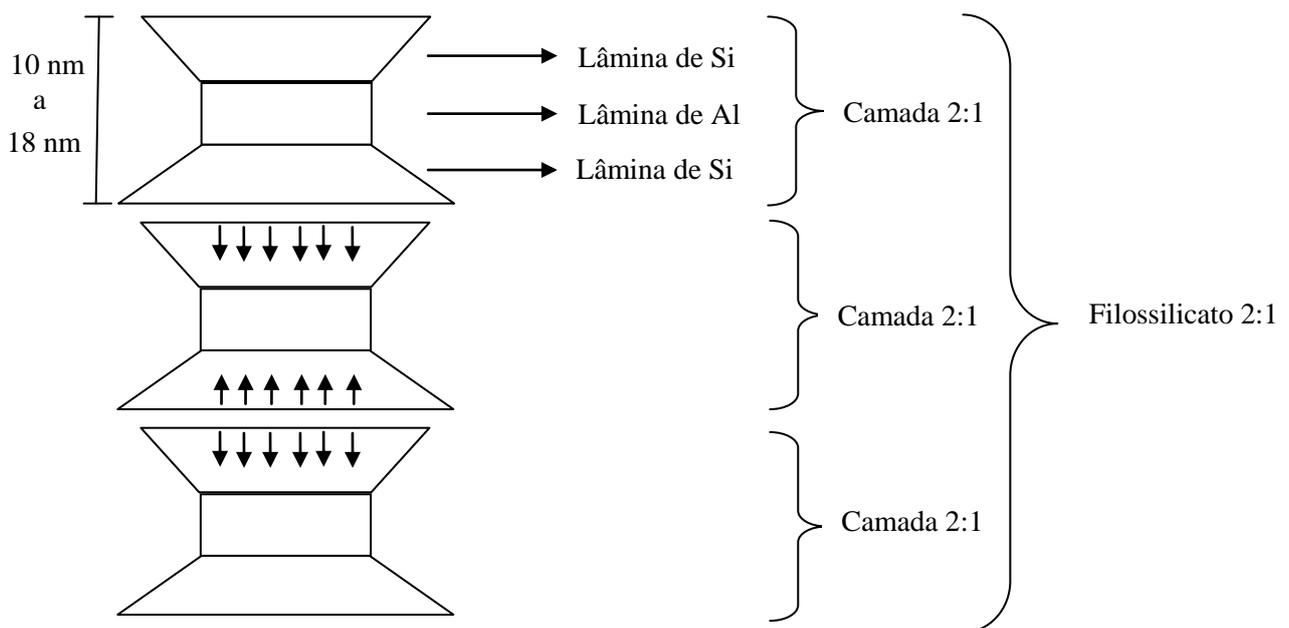
Legenda:



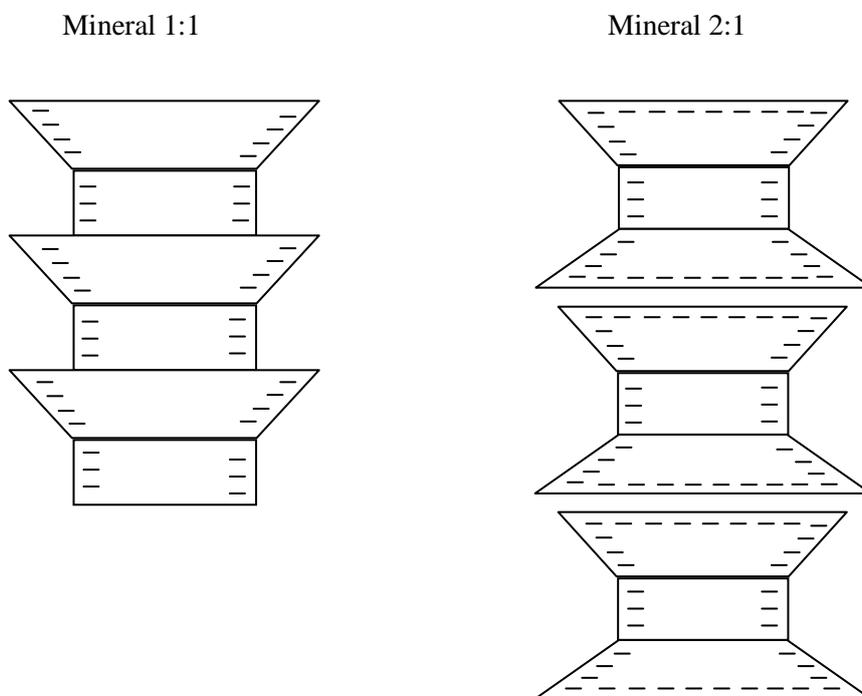
Obs.: 1nm = 10⁻⁹ m

Isto é, as camadas 1:1 se atraem.

Já nos filossilicatos 2:1, veja o que acontece:



Veja que nos filossilicatos 2:1 as camadas podem se afastar como se fossem uma “sanfona” ou as páginas do seu caderno. Este espaço entre camadas possui uma certa carga negativa residual (a quantidade de carga depende do tipo de mineral) e por isto atrai cátions para seu interior. Por isso a maioria destes minerais possui grande CTC.



A tabela 1 apresenta as principais características das partículas da fração argila dos solos.

Recomendo muito a leitura do texto de Kampf e Curi (2000) sobre a ocorrência de minerais nos solos brasileiros.

Em gênese do solo é importante reconhecer quais os minerais predominantes no solo, pois através desta informação é possível inferir sobre o processo e as condições de formação do solo.

Como a classificação de solos é genética, isto é, agrupa solos com origens e processos de formação semelhantes, a importância da identificação dos minerais da fração argila fica ainda maior.

Alem disso, os agrupamentos feitos pelos sistemas de classificação de solos são úteis porque os solos que estão no mesmo grupo têm comportamento semelhante, o que é muito útil para se estabelecer as estratégias de manejo do solo.

Tabela 1. Características gerais das principais partículas da fração argila⁽¹⁾

Origem	Grupo	Estrutura	Mineral	CTC			
				ASE* (m ² g ⁻¹)	Total a pH 7 (cmol _c kg ⁻¹)**	Carga permanente (%)	Carga variável (%)
Orgânica	-	-	-	-	200 (?)***	10	90
Mineral	Filossilicatos	2:1	Montmorilonita	800	100	95	5
			(grupo das esmectitas)				
			Vermiculita	500	150	95	5
		2:1:1	Ilita	120	30	80	20
			Clorita	150	30	80	20
		1:1	Caulinita	20	10	5	95
Óxidos	-	-	Gibbsita (hidróxido de Al)		5	0	100
			Goethita (oxihidróxido de Fe)		5	0	100

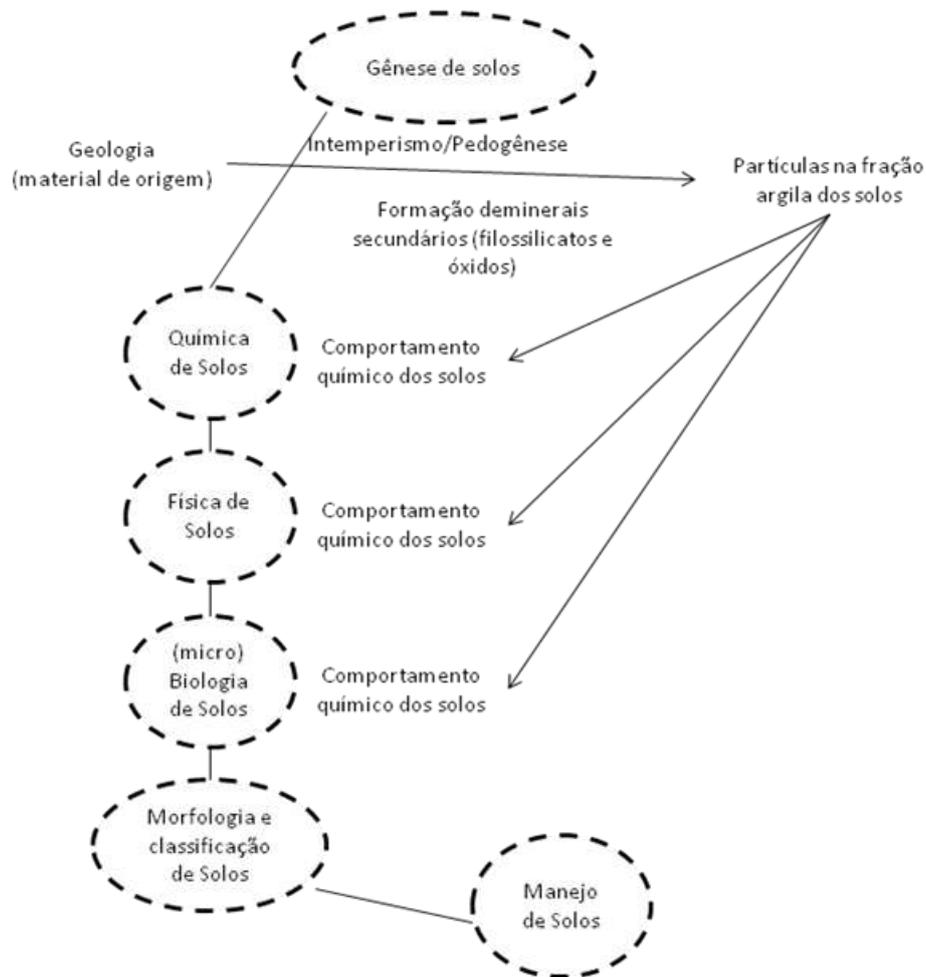
(1) Adaptada de Brady e Weil (1996) e Resende et (1995)

* ASE = Área Superficial Específica

** Para mmol_c kg⁻¹ multiplique por 10

*** Bastante variável

Então, existe uma relação íntima e mútua, um imbricamento, das várias áreas de estudo do solo, como tenta resumir a figura abaixo:



Devido a estas relações, vários aspectos do comportamento e morfologia do solo que são considerados na classificação têm sua origem na composição mineralógica da fração argila do solo.

Por exemplo, uma classe de solo chamada Vertissolo é identificada, em parte, pela presença de fendas e superfícies de atrito ao longo do perfil (isto é, parte da morfologia do perfil). Estas feições são ocasionadas pela presença abundante de esmectitas, que ao se expandirem e contraírem em função do conteúdo de água no solo, produzem uma grande variação de volume, que por sua vez produz estas feições de fendilhamento e superfícies de atrito.

Como as partículas de argila são tão pequenas que podem apenas serem vistas ao microscópio eletrônico, sua identificação, ainda que aproximada, tem que ser feita com base no efeito de sua presença e abundância no solo.

Além das inferências baseadas nas propriedades morfológicas, a composição mineralógica da fração argila do solo também é avaliada e considerada na classificação de solos através de alguns índices quantitativos. Os dois principais são o cálculo da atividade da argila e do índice ki.

Atividade da fração argila

A atividade da fração argila é ma estimativa da CTC da fração argila do solo. Quando a atividade da argila é igual ou maior que $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila dizemos que o solo possui “argila de atividade alta” designada de Ta, e quando o valor é inferior a $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ dizemos que o solo possui “argila de atividade baixa”, Tb. Na classificação de solos a atividade de argila é calculada no horizonte B, e em alguns poucos casos, no horizonte C.

Como calcular:

$$\text{Atividade argila} = (\text{CTC}_{\text{pH}7} \times 1000) / \text{Quantidade argila (g kg}^{-1}\text{)}$$

Índice ki

O índice Ki indica a relação molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ da fração argila do solo. Estes valores devem ser obtidos após a dissolução de minerais secundários da fração argila com ácido sulfúrico (EMBRAPA, 1997), que pressupõe a dissolução APENAS da fração argila do solo.

Este índice pode ser usado para estimar o grau de intemperismo do solo. O índice ki da caulinita é igual a 2, assim solos muito intemperizados tem $ki \leq 2$ e os pouco intemperizados $ki > 2$.

Alguns problemas, como a dificuldade de determinação de Si e Al, variação nas metodologias de extração e os desvios causados pela presença, ainda que rara, de minerais com $ki < 2$ na fração argila, motiva um uso cada vez menor do índice ki como critério nos sistemas de classificação (Oliveira, 2001).

O índice ki é calculado por:

$$Ki = \left(\frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3} \right) \times 1.7$$

Outro índice de intemperismo menos usado é o índice Kr:

$$Kr = \frac{(\%SiO_2)/0,60}{(\%Al_2O_3/1,02) + (\%Fe_2O_3/1,60)}$$

Bibliografia

Citada

Brady, N. C. and Weil, R. R. The nature and properties of soils. 11th ed. New Jersey, USA: Prentice-Hall, Inc.; 1996. xi +740p.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solos. 2nd ed. Claessen, M. E. C.; Barreto, W. O.; Paula, J. L. de, and Duarte, M. N. Rio de Janeiro, RJ, Brazil: EMBRAPA; 1997. 212pp .

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA; 2006. 306 .

Kampf, N. and Curi, N. Argilominerais em Solos Brasileiros. Curi, N.; Marques, J. J. G. de S. e M.; Guilherme, L. R. G.; Lima, J. M. de; Lopes, A. S., and Alvarez V., V. H., Ed. Tópicos em Ciência do Solo III. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2000; pp. 1-54.

Oliveira, João Bertoldo de. Pedologia aplicada. Jaboticabal - SP: FUNEP-UNESP; 2001. 414 .

Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S. B. de, and Corrêa, G. F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 1st ed. Viçosa, MG, Brazil: NEPUT- Viçosa; 1995. 304p.

Leituras recomendadas

Kämpf, N. and Kern, D. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na amazônia. Vidal-Torrado, P.; Alleoni, L. R. F.; Cooper, M., and Silva, A. P. Cardoso E. J. Topicos em Ciencia do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo; 2005; pp. 277-320.

Kämpf, N.; Resende, M., and Curi, N. Iron Oxides in Brazilian Oxisols Beinroth, F. H.; Camargo, M. N., and Eswaran, H. Proceedings of the eighteh international soil classification workshop; Brazil. Rio de Janeiro, Brazil; 1988: p. 71-77. 283p.

Resende, M.; Curi, N., and Santana, D. P. Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações. 1st ed. Brazil: MEC/ESAL/POTAFOS; 1988. 81 .

Suguio, K and Suzuki, U. A evolução geológica da Terra e a fragilidade da vida. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA; 2003. 152 p.

Teixeira, W.; Toledo, M. C. M. de; Fairchild, T. R., and Taioli, F. Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos; 2000. 558p.
Azevedo, A. C. de,

Melo, V. de F. e Alleoni, L. R. F. (Ed.) Química e Mineralogia do solo. Parte I- Conceitos Básicos (695 p.). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2009. 2 volumes. Recomendando particularmente o capítulo abaixo (Capítulo V).

Kampf, N.; Curi, N. e Marques, J. J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo.