

# MINERALOGIA DO SOLO, ELEMENTOS RAROS E VITAMINAS

**Marger Gutmans**

Geólogo da Seção de Agrogeologia  
Divisão de Experimentação e Pesquisas  
(Instituto Agronômico)

Conhecemos a composição química de tôdas as rochas que formam a crosta terrestre, até 20 Km. de profundidade. Com exceção dos carbonatos e das rochas de origem orgânica, os silicatos são os principais componentes minerais das rochas eruptivas e sedimentares. De todos os minerais, os silicatos são os mais resistentes à decomposição, e a sua análise química necessita de aparelhagem das mais custosas e complicadas. Durante sua análise, os silicatos são submetidos a pulverização finíssima, fundição e tratamento pelos ácidos de concentração máxima, a elevadas temperaturas. Os silicatos ficam totalmente destruídos, mas, felizmente, os átomos resistem perfeitamente a todos os tratamentos, para ressurgirem no fim, em forma de óxidos e outras combinações.

Ao contrário, a análise mineralógica das rochas trata de conservar todos os componentes minerais. Em vez de pulverizar, prepara-se uma lâmina da rocha para o estudo microscópico de suas particularidades. A classificação científica das rochas tornou-se possível com a invenção do microscópio mineralógico.

Todos os tipos de solos, de tôdas as formações geológicas e zonas climáticas, foram analisados quimicamente. Baseados nestas análises podemos calcular as quantidades dos diferentes átomos que compõem os solos, mas ainda estamos longe de conhecer todos os minerais, formados por êstes átomos. Se fôsse possível separar os minerais do solo, a análise química daria as suas fórmulas, mas ainda não se separaram os minerais, de

solo algum. A fineza extrema da parte do solo, chamada argila, não permite qualquer separação.

O microscópio comum resultou de pouca aplicação para as argilas. O fenômeno de difração oblitera a claridade das imagens das partículas muito finas. Utilizando as ondas eletrônicas ultra-curtas no microscópio eliminou-se a difração, conseguindo-se as imagens nítidas das partículas de argila, aumentadas 25.000 vezes. (1) Assim, o microscópio eletrônico tornou-se um aparelho auxiliar para análise do solo, mas deve, ainda, ser muito aperfeiçoado, porque os contornos das partículas componentes não permitem identificá-las.

O microscópio mineralógico comum, que usa a luz branca visível, é ainda o melhor instrumento para analisar a parte arenosa do solo, incluindo o limo com as partículas de 0,01 mm., como mínimo. Qualquer substância fica mais ativa, quimicamente, quanto mais pulverizada. Assim, apareceu a teoria estabelecendo que a parte arenosa do solo é a parte inerte, que pode contribuir com elementos nutritivos para plantas, só depois de muitos anos de decomposição. A argila passou a ser considerada como fornecedora de minerais nutritivos. A areia é somente necessária para um bom solo, porque argila pura é impermeável.

Veremos que as análises mineralógicas dos solos nos últimos anos não comprovaram esta teoria.

Os solos são compostos de areia e de argila nas mais variadas proporções. Existem solos de areia pura, como, por exemplo, as dunas. Os bosques seculares de pinheiros de 20-30 m. de altitude cobrem, ainda hoje, as dunas em clima rigoroso do mar Báltico. A penetração vertical das raízes de pinheiros é notável, alcançando, às vezes, o substrato da duna, mas os bosques mais altos e mais densos encontram-se acima das dunas de 40-50 m. de altitude, onde todo o sistema de raízes fica integralmente dentro de areia.

Os maiores desertos têm os solos de areia pura, mas a falta de vegetação provém da falta de água. A melhor uva argentina é cultivada no município de Mendoza, onde os areais apa-

rentemente estéreis foram transformados em riquíssimos vinhedos por intermédio de irrigação.

Pulverizando areia até o diâmetro de um milésimo de milímetro não se pode produzir argila, porque a argila natural é resultado da decomposição química. Os silicatos das rochas ficam destruídos, mas novos silicatos são formados, com eliminação de óxidos de elementos solúveis nutritivos. Os novos silicatos, classificados como silicatos da argila, raramente aparecem em partículas maiores de 0,01 mm.. Nestes casos excepcionais foram determinados os coeficientes de refração, os ângulos de eixos óticos e outros elementos para identificação do mineral. Nos solos, a maior parte destes minerais são muito maiores de 0,01 mm. de diâmetro.

A análise de solos precisava de um novo método e um método tal foi encontrado, submetendo a argila aos raios X.

No ano de 1890, o petrógrafo russo FEDOROW demonstrou que substâncias cristalizadas, naturais ou artificiais, formam 230 agrupamentos de átomos, bem distintos. Não se tratava de teoria alguma. Sem ver a rede atômica, FEDOROW deduziu seus 230 agrupamentos do estudo geométrico dos cristais.

Vinte e dois anos depois, o físico alemão LAUE obteve a primeira fotografia da rede atômica, irradiando um cristal de blenda com raios X (2). A importância prática do descobrimento era evidente.

A análise microscópica de partículas menores de um décimo de micron é impossível, mas estas partículas contêm ainda milhares de átomos agrupados numa assombrosa regularidade. Bastaria medir a distância entre dois próximos átomos para conseguir um importante distintivo. No ano 1913, os ingleses BRAGG determinaram as distâncias entre átomos dos cloretos de potássio e sódio, usando cristais com facetas visíveis a olho nu (3). O aparelho dos BRAGG tem um eixo e o cristal deve ser centralizado, acima da ponta superior do eixo. Podemos imaginar uma operação tal, para partícula de um milésimo do mm., mas seria impossível conseguir alguma impressão fotográfica dos raios X, refletidos da partícula.

Se o novo método ficasse limitado aos grandes cristais,

sua importância analítica resultaria nula, porque a análise dos cristais com formas visíveis a olho nú não necessita nem de microscópio nem de laboratório químico.

Os cristais microscópicos compõem uma parte considerável do solo, mas também todas as rochas os contêm em várias proporções. Muitas lavas, rochas formadas pelas cinzas vulcânicas, xistos e argilitos são compostos de cristais microscópicos, exclusivamente. O granito, usado como exemplo de rocha de grossa granulação, contém abundantes micrólitos, indetermináveis por microscópio de luz comum.

As aplicações múltiplas da argila estimularam pesquisas de sua composição, antes de tudo para fins de cerâmica.

No ano 1914, LE CHATELIER publicou o tratado "La Silice et les Silicates", onde classifica todas as argilas em três grupos: 1) alofânicas, 2) caolínicas e 3) pirofiliticas. Rejeitando a análise química, esta classificação está baseada em curvas de aquecimento, e das inúmeras classificações está mais próxima da classificação nova, baseada em estrutura atômica. O método de LE CHATELIER foi depois aperfeiçoado e é usado, ainda hoje, para análise das argilas.

O método de determinar a rede atômica da argila foi indicado simultaneamente, no ano 1916, por DEBYE e SCHERRER na Europa (4), e por HULL, na América (5). A idéia do método é simples e o método mesmo é simplificado do método LAUE. A orientação meticulosa do cristal para irradiação de raios X é eliminada. Os raios X, que formam um jato finíssimo, entram em uma coluneta vertical composta de cristais microscópicos sem orientação alguma. Os raios X, refletidos por milhares de planos atômicos de todos os rumos possíveis, ficam dispersados, com exceção de alguns fortalecidos pela interferência.

O fenômeno é o mesmo como reproduzido pela película de óleo acima de água. A luz refletida pelo óleo entra em interferência com a luz refletida pela água, ostentando todas as cores à luz do dia. Fazendo experiência com luz monocromática aparece acima da película só esta luz interrompida por faixas pretas. A diferença é que os raios X são refletidos não pelas

duas superfícies, mas por milhares de planos atômicos, produzindo linhas paralelas bem delimitadas do röntgenograma.

O novo método analítico conduziu as primeiras determinações da composição mineralógica quantitativa do solo. O caolim, muitos anos considerado como o mineral mais importante, foi relegado entre os componentes de segunda ordem nas argilas e por conseguinte nos solos.

A mudança mais notável aconteceu com a montmorilonita. Descoberta no ano 1874 por SALVETAT em Montmorillón, este mineral permaneceu quase 100 anos obscuro, considerado por todos como um mineral de escasso interêsse científico e sem valor prático algum. São raras as mineralogias, até agora, que acham necessário mencionar este mineral. SALVETAT encontrou montmorilonita em uma mina abandonada, mas, nos últimos anos, os raios X acharam-no em muitos solos, principalmente da zona moderada da América e da Europa. No Estado de São Paulo a parte superior da formação cretácica é rica em montmorilonita (6).

Os raios X prepararam outras surpresas para mineralogistas e químicos do solo. Uma parte notável das argilas de solos resultou composta de mica em estado finíssimo. Neste estado, a mica forma um pó branco que, absorvendo água, adquire certa plasticidade e fica muito parecida com o caolim. Várias fábricas de São Paulo instalaram concentradores para lavagem de mica fina, tomando-a por caolim.

Ficou demonstrado pelos raios X que a textura lamelar característica da mica é comum a todos os minerais de argila (7)

A mica separa-se fácilmenete em fôlhas de espessura dum milésimo de milímetro, mas precisa-se continuar a separação muito mais, para conseguir a lâmina elementar do mineral que contém uma lâmina de átomos de potássio, duas lâminas de oxigênio, duas lâminas compostas por átomos de alumínio e silício, duas lâminas de átomos de oxigênio e hidrogênio e uma lâmina de alumínio.

Para tornar mais curta a enumeração, juntamos várias lâminas. Na realidade, duas lâminas da mesma composição atômica sempre ficam separadas por uma ou mais lâminas de ou-

tros átomos.<sup>3</sup> No total, as oito lâminas formam uma lâmina de mica de um milionésimo de milímetro de espessura.

As lâminas atômicas da mica, com exceção da lâmina de potássio, aparecem em outros minerais de argila com poucas modificações.

Assim os raios X demonstraram que a parte argilosa do solo contém seus próprios minerais, que, com exceção da mica, e do quartzo, não se encontram na areia e no limo. Por exemplo, nos 103 solos da Alemanha do Norte não se encontraram os feldspatos na parte argilosa. Ao contrário, na parte grossa, os feldspatos acham-se em todos os solos da Europa e da América do Norte, como foi comprovado em milhares de amostras, pela análise microscópica. Os feldspatos são os principais fornecedores de elementos nutritivos. Potássio está presente também em micas, mas as micas resistem à decomposição muito melhor que qualquer variedade dos feldspatos. Os solos da Europa e da América do Norte são novos porque as geleiras lá desapareceram somente há 20.000 anos atrás, deixando na superfície da terra as areias, tilitos e argilas, com feldspatos ainda intatos. Nas grandes partes da Europa e da América do Norte, que ficaram livres do gelo durante a época diluvial, depositou-se espessa camada do loess, formada pelos mesmos feldspatos transportados por ventos juntamente com outros minerais.

O arado substitui a camada esgotada superior por camada inferior que ainda contém minerais frescos. A ação da geleira é exatamente a mesma. Durante o período terciário, o clima quente e úmido compôs as rochas na superfície da Europa e da América do Norte. Avançando lentamente do Norte, as geleiras, primeiramente, eliminaram a crosta espessa de decomposição, transportando-a para o Sul em forma de tilitos. No meio da época quaternária as geleiras penetraram profundamente em rochas vivas sem exceção alguma. No apogeu de sua vida, as geleiras traspassaram os depósitos formados de rochas decompostas no início da época, sepultando-os debaixo dos tilitos de nova geração. Estes tilitos, que contém os feldspatos das rochas vivas, são rochas mater dos solos da Europa e da América do Norte. Passaram muitos anos que

os bosques se expandissem ocupando a terra livre de gelo. As argilas não protegidas por vegetação foram transportadas por ventos milhares de quilômetros ao Sul da região de tilitos. Felizmente para a Europa e para a América do Norte, a erosão eólica não eliminou todos os tilitos. Com o desaparecimento completo do gelo, terminou o predomínio dos ventos do Norte, o clima ficou mais suave e a vegetação guardou os restos de tilitos para a humanidade.

Com a eliminação dos bosques, iniciou-se o rápido esgotamento do solo. A erosão eólica, que nas zonas de clima moderado durante milênios não se manifestou, em alguns dias liquidou o solo de estados inteiros. O mundo fica impressionado pelos sulcos profundos que a erosão pluvial abre nas encostas dos morros, mas não era esta classe de erosão nem a erosão eólica, que acabou a vida de nações florescentes. Existe uma erosão, ainda pouco estudada e desconhecida pelo público, porque suas consequências não se prestam a fixação fotográfica.

Com a eliminação dos bosques o movimento descendente de água pluvial aumenta acima e debaixo da superfície da terra. A água superficial escorre rapidamente, mas a água subterrânea é vagarosa e fica carregada de substâncias minerais solúveis, que são assim removidas para os rios e por fim para o mar. O terraceamento tão eficaz contra o sulcamento dos morros não pode sustar o movimento da água freática. Ao contrário, a água superficial impedida em seu trajeto normal pelos terraços, ganha tempo para penetrar no solo e transformar-se em água subterrânea dissolvente.

A erosão dissolvente é mais enérgica nos países quentes. A parte meridional da Europa e da América do Norte ficaram pobres em minerais nutritivos do solo, antes de outras partes. O esgotamento mineral do solo inevitavelmente conduz à decadência do reino vegetal e animal. Assim se poderia explicar a tendência das culturas mediterrâneas para o Norte a partir do vale do Nilo.

Na América do Norte observa-se uma decadência de condição física do povo, principalmente em Estados sulistas.

Entre os trópicos, a ação renovadora das geleiras não ti-

nha a extensão européia ou norte-americana. No Brasil, os tilitos e rochas derivadas ocupam uma parte considerável da superfície dos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, mas êstes tilitos foram depositados muitos milhões de anos atrás, durante época carbonífera. Alguns restos de feldspatos encontram-se em cascalho, que é a parte característica dos tilitos e apresenta as rochas mais variadas sedimentares e eruptivas. Todos os cascalhos, com exceção de quartzos, são profundamente decompostos. A argila que forma a parte mais volumosa dos tilitos não conservou intactos seus componentes, com exceção dos mesmos quartzos e dos aluminossilicatos.

Na América do Sul, a ação vulcânica tem maior importância que a glaciação como renovadora do solo. A Cordilheira dos Andes em toda sua extensão possui vulcões ativos que, alternativamente, ejectam quantidades enormes de cinzas vulcânicas, que cobrem os Estados inteiros com uma camada de vários centímetros. A composição mineralógica das cinzas é tão variada como das rochas vulcânicas, aparecendo os feldspatos como a parte mais frequente.

No ano 1935, o vulcão chileno Descavezado entrou em um período de erupção e suas cinzas apareceram no Uruguai e no Rio Grande do Sul. Durante as épocas terciárias e quaternárias as erupções vulcânicas eram mais prolongadas e de maior intensidade. As camadas variegadas de granulação finíssima que aparecem em todas as excavações dentro da cidade de São Paulo provavelmente têm origem vulcânica. A comprovação é difícil, porque os componentes primários desapareceram transformados em outros minerais.

Quase em toda extensão do escudo brasileiro, as enchentes são os únicos agentes geológicos de importância, que são capazes de formar novos solos, limitados, porém, a faixas estreitas nas beiras dos rios. Ademais, a formação destes solos aluviais é possível só por conta da erosão nas cabeceiras dos rios.

Submetidos à erosão química tropical, os solos brasileiros, com poucas exceções, carecem de minerais nutritivos. A vege-

tação natural favorecida por regime continental de muitos milhões de anos adaptou-se a esta falta, penetrando por vários metros em procura da rocha fresca. A ciência do solo tradicional, que preconizava o solo como um elemento indispensável para vegetação devia admitir que a vegetação tropical é capaz de utilizar rochas sem intermédio algum. Matas frondosas, por exemplo, cobrem os tilitos das serras litorâneas, crescendo acima das rochas sem cobertura térrea.

Os solos brasileiros são propícios para culturas de muitos anos, como café ou laranja, que imitam a vegetação natural, procurando as camadas profundas com minerais ainda intactos. As culturas de duração curta podem utilizar só as camadas pobres superficiais e necessitam de adubação.

Avaliando os resultados da adubação, os lavradores, em geral, limitam-se a calcular a quantidade de colheita por unidade de superfície adubada, mas sabemos agora que a composição das plantas cultivadas varia muito. O solo pobre em potássio, mas rico em outros elementos nutritivos, pode produzir uma colheita regular, com deficiência do potássio. O conteúdo de vitaminas em frutas aumenta proporcionalmente com o conteúdo de minerais nutritivos no solo cultivado.

Nos Estados sulinos da América do Norte, as mulas são animais de carga muito usados. Esses animais vêm de longe, porque as tentativas de criá-los ali mesmo fracassaram. O solo, por falta de vários minerais, extraídos pelas chuvas abundantes e quentes, produz pasto denso mas defeituoso. O regime nutritivo dos cavalos de corrida foi submetido a pesquisas prolongadas e ficou estabelecido que na Flórida, por causa da carência de minerais nutritivos no solo, é impossível a criação destes cavalos. Nas corridas, os cavalos de Flórida apresentaram-se mais fracos que, por exemplo, os cavalos de Kentucky. Para aumentar as colheitas, os lavradores do Sul usam os fertilizantes de potássio, fósforo, cálcio e azoto em maior quantidade que os lavradores do Norte. As colheitas aumentam, mas a criação não fica melhor, porque a vegetação, não obstante seu grande volume, carece ainda de muitos elementos. Para crescimento normal dos animais, 16 elementos químicos são

absolutamente necessários. A cultura de laranjas na Flórida melhorou quando ficou organizada a pulverização de árvores cítricas com soluções de cobre e zinco, que foram eliminados do solo pela erosão química, já muitos anos atrás.

Alguns gramos de borato introduzidos no solo debaixo da macieira aumenta de 100% o conteúdo das vitaminas "A" em suas frutas. O manganês aumenta ainda em maior proporção o conteúdo de vitaminas em tomates.

Para terminar, a Ásia fornece um exemplo demonstrativo da importância dos minerais do solo na vida humana. O loess da China, rico em feldspatos, produziu e continua produzindo as terras de fertilidade assombrosa, mas, sepultado por ventos no fundo do Mar da China, êle nunca poderia radicar-se nas ilhas do Japão. Os solos japoneses são pobres em feldspatos. As erupções de cinza dos vulcões do Japão são insuficientes para compensar as perdas ocasionadas pela erosão química favorecida pelas chuvas abundantes. A consequência é um povo de estatura mínima. Para melhorar a nutrição do povo, o governo do Japão criou uma frota de pesca considerável que estendeu suas atividades por todo o Oceano Pacífico.

Voltando às condições de vida em países tropicais, a importância das vitaminas para combater a virulência dos microorganismos nocivos em clima quente fica evidente. O método mais econômico para aumentar o consumo das vitaminas pelo povo é aumentar nos solos a proporção dos minerais nutritivos por intermédio de fertilizantes.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1 — V. K. ZWORYKIN and JAMES HILLIER — *Electronic Microscopy*. — "The Scientific Monthly", Sept, 1944 — Pp. 165-179. Ff. 1-16.
- 2 — FRIEDRICH, KNIPPING u. LAUE, *Bayr Akad. Sitzb. Math.-physik. Klasse*, 1912, pp. 303, 363.
- 3 — W. L. BRAGG, *Proc. Roy. Soc.*, 89, 248 (1913).

- 4 — P. DEBYE und P. SCHERRER, Nachr. Kgl. Ges. Wiss. Göttingen (1915-1916).
- 5 — A. W. HULL, Phys. Rev., 9, 84, 564 (1917) e Phys. Rev. 10, 661 (1917).
- 6 — J. E. de PAIVA NETTO — A “fração argila” dos solos do Estado de São Paulo e seu estudo roentgenográfico. Bragantia, Vol. 2, N.o 10, pp. 355-432, chapas 1-77, Ff. 1-4, 1 gráfico, 5 tabelas. Ano 1942. Idem. Argilas do tipo montmorillonítico nos solos do Estado de São Paulo. Mineração e Metalurgia. VI:87, Ff. 1-4. 1941.
- 7 — A. K. BOLDYREW, Mineralogia. 1936. Pp. 479-486 (em russo).

## **Construções Rurais**

**4.a Edição**

Prof. Orlando Carneiro

Catedrático da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” de Piracicaba — Universidade de São Paulo

Materiais e Peças de Construção — Concreto Armado — Impermeabilizações — Revestimentos Asfálticos — Organização de Orçamentos — Habitações Rurais — Instalações Agrícolas — Instalações para Bovinos, Equinos, Suínos, Aves, Ovinos e Caprinos, Coelhos, Abelhas, Instalações Rústicas, etc. — Sirgaria — Tanques para Peixes — Construções diversas: Caixas de Água, Pontes e Boeiros, Mata Burros, Postes de Concreto Armado, Porteiras, Fornos para Carvão e para Cal, Drenagem, Açúdes, Saneamento, Fossas Sépticas, etc. Descrição e Desenhos detalhados.

**UM LIVRO COMPLETO**

Preço — Cr\$ 160,00

Pedidos — Alameda Itú, 1159 — São Paulo