

## OS SOLOS DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

(Primeira Parte)

JOSE SETZER

*Aos numerosos estudos referentes aos solos do Estado de São Paulo, o Dr. JOSÉ SETZER, sócio efetivo da A.G.B. e consultor técnico nacional em pedologia do Conselho Nacional de Geografia, vem acrescentar mais um, não menos valioso, correspondente aos solos do município da Capital paulista.*

*O presente estudo, além de considerações gerais, focaliza especialmente as características químicas dos solos paulistanos. Em nosso próximo número (outubro de 1955), publicaremos a segunda e última parte do trabalho, em que serão estudadas as características físicas dos solos do município de São Paulo.*

**Introdução (\*).** — Datam de 1944 os primeiros trabalhos de campo e de laboratório que possibilitaram o presente estudo. A coleta de dados nunca foi interrompida e prosseguirá depois da publicação destas notas. Trabalhos desta natureza nunca podem ser dados por concluídos, pois ninguém, em sã consciência, pode dizer que esgotou uma questão, em se tratando do estudo de solos. É que solo é um complexo organo-mineral em contínua evolução, muito heterogêneo e variável de ponto a ponto, resultante de entrelaçamento estonteante de vários fatores genéticos (topografia, rocha, vegetação, ação humana, clima, tempo), que, por sua vez, variam muito de lugar para lugar, e submetido a tratamentos os mais variados. Mas, apesar de toda esta complexidade, o assunto solo deve ser estudado assídua e cuidadosamente, pois possui valor econômico transcendental.

Baseia-se este estudo na análise completa de 57 amostras típicas. Será, sem dúvida, útil publicar uma espécie de segunda edição, quando o número de amostras típicas analisadas atingir uma centena, principalmente porque, dos 24 tipos de solos do município, só descrevemos 16, pois achamos necessário documentar cada tipo com suficiente número de amostras, tendo concentrado por ora o nosso trabalho sobre os solos mais importantes.

As amostras, cuja análise completa damos no presente trabalho, foram todas colhidas pelo autor, que também efetuou algumas das análises no Laboratório de Solos do D. E. R. e nos Laboratórios

(\*) O presente trabalho foi entregue à Associação dos Geógrafos Brasileiros em maio de 1954.

de Química do Instituto Geográfico e Geológico e do Dept.<sup>o</sup> de Mineralogia e Petrografia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras. Os competentes analistas do laboratório do DER efetuaram quase todas as análises físicas e algumas químicas. Quase todas as análises totais do complexo mineral das argilas foram executadas no laboratório do I. G. G., em sua maior parte pela Lic. Quím. Maria Stella Barroso. Quase todas as determinações do pH, matéria orgânica, nitrogênio total, teores trocáveis e solúveis foram executados no Lab. Agrotécnico "Édaphos" pelo químico Daniel Prado, pagas pela Associação dos Geógrafos Brasileiros, entidade esta à qual deve o autor a possibilidade de juntar dados suficientes para esta sua primeira apresentação. A bem da verdade é preciso acrescentar que o Lab. "Édaphos" cobrou quantia irrisória pelo serviço, colocando-se entre as entidades beneméritas que contribuíram para este trabalho de interesse de toda a comunidade.

Houve dificuldades e anos de espera para se obter o conjunto completo das análises de cada amostra, mas, afinal, estão elas aqui, e às entidades e pessoas citadas apresenta o autor o seu sincero agradecimento. Mas sem o concurso da Associação dos Geógrafos Brasileiros o presente estudo, só daqui a diversos anos, talvez pudesse ficar bastante adiantado para a primeira publicação.

Desejamos lembrar, mais uma vez, que em assuntos como este, complexos e que nunca podem ser dados como terminados, publicações do tipo do presente estudo não são feitas porque o autor "sabe muito", mas porque o pouco que sabe representa grande valor para a coletividade, em face da completa ausência de dados concretos e facilidade de inferências e julgamentos verdadeiramente absurdos proferidos por pessoas de todas as categorias.

**Estudo dos solos do município de São Paulo.** — A denominação "Cinturão Verde" exprime o desejo dos três milhões de habitantes do município de São Paulo e das áreas que se estendem pelos municípios vizinhos, de que seja a cidade circundada por uma faixa larga e densa de hortas e chácaras, para que os paulistanos tenham diariamente legumes, verduras, flores, ovos, frutas, etc., baratos, abundantes e frescos.

Já se gastou muita tinta com o assunto, muito discurso de vereadores e deputados, reportagens, ilustradas em jornais e revistas, declarações de autoridades. Todos falam no assunto, todos ajudam com boa vontade e entusiasmo; ninguém se manifestou contra, mas a pobre cinta, tênue, descontínua e mirrada, que sempre existiu, continua quase a mesma.

Parece que de nada adianta toda a palavra escrita e irradiada que se gastou e que se vem gastando, num "crescendo" estimulado pelas festas do 4.<sup>o</sup> centenário da cidade. Os chacareiros e verdurei-

ros dizem maliciosamente que essa gente fala, mas não suja as mãos na terra preta das várzeas...

Não há dúvida que existem dificuldades enormes a vencer. Caso contrário, o tal Cinturão Verde seria uma realidade sem qualquer propaganda, nem ajuda do Governo, visto que são altíssimos, nos mercados e nas quitandas da cidade os preços de legumes, verduras, flores, ovos e outros produtos, dos quais muita gente se priva, simplesmente por não poder pagá-los.

Quais são essas dificuldades enormes? Evidentemente, não é questão de falta de capitais, pois artigos de tanta procura e necessidade, que pudessem ser produzidos tão perto da cidade, o seriam, sem dúvida, em larga escala, se a atividade fosse lucrativa. Muita gente inteligente e ativa tentou o negócio, mas teve que desistir. Entre eles havia numerosos japoneses, gente sabidamente ativa e empreendedora cuja tendência para modernizar o serviço, empregar adubos e organizar-se em cooperativas é conhecida.

Um fator que parece agir poderosamente contra o Cinturão Verde é o preço da terra, pois se trata sempre de terrenos loteados ou loteáveis, que se vendem a metro quadrado e não por alqueire. A cidade cresce com rapidez espantosa, atingindo os loteamentos um raio de 60 km pelas estradas principais. Já se calculou que, se em cada terreno, dos já loteados e postos à venda, se construísse uma casa, por pequena que fosse, a cidade de São Paulo atingiria 30 milhões de habitantes.

Isto significa, é verdade, valorização astronômica da terra, mas o fato da cidade só possuir 3 milhões de habitantes significa ao mesmo tempo que, no mínimo 90% dos terrenos estão vagos e poderiam ser quase todos alugados a chacareiros e horticultores. As razões para isto são boas, pois os terrenos, ao invés de só darem despesa em impostos, arruamentos e limpeza, passariam a produzir alguma coisa. E qualquer rendimento que dessem aos proprietários, à espera da valorização, seria considerado auspicioso.

Portanto, pesando prós e contras, o fato da terra ser um valioso terreno loteado ou loteável, também não constitui obstáculo ao Cinturão Verde. A proximidade e o tamanho do mercado consumidor compensam bem essa desvantagem.

**Terras pobres e ácidas.** — Entretanto, um empecilho poderoso existe. Foi desvendado pelo trabalho científico realizado pela Associação dos Geógrafos Brasileiros, que reuniu especialistas em geologia, solos, clima, vegetação, história, economia, sociologia, demografia e outros ramos do estudo, professores universitários e técnicos de instituições científicas, todos membros daquela sociedade, a fim de brindar a cidade de São Paulo, por ocasião do seu IV Centenário, com um estudo geográfico o mais possível completo.

O especialista em solos, que é o autor destas linhas, tendo executado análise química, física e mineralógica de numerosos perfis de solos e de muitas amostras avulsas, e estribado na geologia e na geografia física, verificou que todos os solos da região são extremamente ácidos e pobres, apesar de possuírem boas propriedades físicas, e deu explicação cabal das circunstâncias naturais que condicionaram o fato. Outro empecilho é a falta de água abundante para irrigação.

A adubação química geralmente usada é de pouco proveito por não incluir calcáreo, que atenuaria a acidez. E o estêrco praticamente não existe por falta de pecuária.

Vamos explicar este assunto da maneira mais simples possível. Usaremos poucos termos técnicos, sempre explicando com palavras simples o seu significado prático. Acharmos útil deixar de evitá-los, pois julgamos que eles são preciosos pela sua significação exata e feição de instrumentos de trabalho.

É, a nosso vêr, a melhor maneira de agir, a fim de tirar do assunto o maior proveito e a mais larga repercussão, que é a das possibilidades reais de recuperação da fertilidade das terras cansadas e maltratadas de toda a parte úmida do Brasil.

**Classificação dos solos.** — Os solos da região da cidade de São Paulo foram divididos em 8 grupos:

- 1) Várzeas úmidas (solos do grupo n.º 20).
- 2) Várzeas enxutas (solos do grupo n.º 21).
- 3) Solos gerados por argilitos arenosos terciários (grupo n.º 17).
- 4) Solos gerados por arenitos argilosos terciários (grupo n.º 18).
- 5) Solos de gnaisses e granitos (grupo n.º 1).
- 6) Solos de rochas semelhantes, menos ácidas (grupo n.º 2).
- 7) Solos de quartzitos e quartzoxistos (grupo n.º 3)
- 8) Solos de micaxistos e filitos (grupo n.º 4).

A classificação em grupos dos solos do Estado de São Paulo, por meio de números consecutivos de 1 a 22, e a divisão dos grupos em tipos, por meio de letra minúscula acompanhando o n.º do grupo, é da nossa autoria e data de abril de 1941 (1). A descrição dos vários grupos e tipos de solos figura também no livro "Os Solos do Estado de São Paulo", escrito em 1943 e publicado em 1949 pelo Conselho Nacional de Geografia (2).

Dos solos do grupo 20 existem, no Cinturão Verde, 5 tipos (3):

- a) solos argilosos claros, pobres em húmus, localmente conhecidos pelo nome popular de *taguá*;

- b) solos argilosos escuros, com bastante húmus, localmente apelidados de *tabatinga*;
- c) idem, contendo mica;
- d) solos argilosos negros, muito ricos em húmus;
- e) solos turfosos (carbono total acima de 10%).

Enquanto os solos do grupo 20 são pretos ou bem escuros, os do grupo 21 são apenas cinzentos, às vezes com tonalidade amarelada, acastanhada ou rosada. No grupo 21 também se distinguem 5 tipos (4), mas somente os primeiros 3 foram encontrados na região de São Paulo:

- a) solos argilosos claros, pobres em húmus, localmente apelidados pelo povo com o nome de *taguá*;
- b) solos argilosos mais escuros, com bastante húmus (até 5 ou 6%), localmente apelidados *tabatinga*'';
- c) idem, contendo micas (na região de São Paulo só ocorrem nas várzeas encravadas no Complexo Cristalino).

Os solos dos outros 6 grupos são de encostas de colinas e morros ou partes altas do relêvo. Sua subdivisão é a seguinte:

- Tipo 17a = solos claros de argilitos bastante arenosos;
- Tipo 17b = solos amarelos e alaranjados de argilitos pouco arenosos;
- Tipo 17c = solos vermelhos de argilitos pouco arenosos (ocorrem quase sempre sobre as partes mais proeminentes da topografia).

Os tipos 17b e 17c possuem na região o nome popular da *massapé amarelo* e *massapé vermelho*, respectivamente. Ao tipo 17a aplica-se, às vezes, o termo *catanduva*.

Os solos do grupo 18 são subdivididos em 3 tipos:

- Tipo 18a = solos amarelos claros, com areia grossa de grãos bastante arredondados, derivados de arenitos terciários grosseiros;
- Tipo 18b = solos alaranjados, com areia fina e uniforme, derivados de arenitos terciários argilosos;
- Tipo 18c = solos claros com cascalho arredondado, derivados de arenitos terciários conglomeráticos;

Destes 3 tipos, aos 2 primeiros também se aplica por vezes o nome *catanduva*. A extensão deste grupo 18 é muito pequena na

região de São Paulo, ao contrário do Vale do Paraíba (5), onde predomina sobre o grupo 17. Devemos observar que duvidamos seriamente da idade terciária, principalmente dos mais grosseiros, destes arenitos, que nos parecem antes quaternários. Acharmos que o Terciário existe no Vale do Paraíba desde o topo do folhelho papiráceo, acima do qual os sedimentos devem ser quaternários. Assim, na bacia de São Paulo, não havendo aqueles folhelhos, todo o pacote deve ser quaternário, ao menos a partir da primeira camada de arenito conglomerático.

Os solos do grupo 1 são divididos em 4 tipos:

- a) os rasos originados de granitos;
- b) os rasos originados de gnaisses bem ácidos;
- c) os profundos originados de granitos;
- d) os profundos originados de gnaisses bem ácidos.

Todos estes 4 tipos do grupo 1 são apelidados pelo povo *salmourão*, mas o nome é muito pouco utilizado, quase sempre nos casos de solo muito maltratado por queimadas e pela erosão, caso este em que apresenta o aspecto de sal grosso esparramado pelas encostas declivosas (fragmentos graúdos de quartzo aflorando embutidos em argila).

Os solos do grupo 2 também se dividem em 4 tipos, mas só possui extensão apreciável na região o tipo 2a, que é o originado por gnaisses micáceos, biotíticos (mica preta abundante na rocha, que no solo aparece em forma de palhetas douradas, enferrujadas e descordadas). São apelidados *massapé*, ora *vermelho*, ora *amarelo* (quando são alaranjados), ora *cinzento* (nas fraldas de morros de grande declividade, praticamente apenas na Serra da Cantareira).

Os solos do grupo 3 dividem-se em 2 tipos:

- a) muito arenoso, grosseiro, derivado de quartzitos
- b) arenoso, com pouca areia grosseira e alguma argila, contendo raras palhetas de micas brancas, derivado de quartzoxistos.

A ambos estes tipos é aplicado o nome popular de *salmourão*.

Os solos do grupo 4 dividem-se em 4 tipos, dos quais o tipo a é freqüente, enquanto o b só se encontra na periferia da região:

- a) solos originados de micaxistos;
- b) solos originados por filitos claros.

Ambos possuem o nome popular de *massapé*. O tipo 4b quase não possui areia: os grânulos que se sentem na palma da mão, sob

os dedos da outra, são pequenos agregados de argila, por vezes concrecionária.

Os 8 grupos de solos da região da cidade de São Paulo apresentam-se classificados, portanto, em 24 tipos, de acordo com a tabela n.º 1.

TABELA N.º 1

Os 24 tipos de solos da região de São Paulo, pertencentes a 8 grupos

SOLOS DE BAIXADA			SOLOS FORA DAS BAIXADAS					
Várzeas úmidas	Várzeas enxutas	úmidas ou enxutas	TERCIÁRIO		COMPLEXO CRISTALINO			
			argilitos	arenitos	rochas ácidas		menos ácidas	
20a	21a	22a	17a	18a	1a	3a	2a	4a
20b	21b	—	17b	18b	1b	3b	—	4b
20c	21c	—	17c	18c	1c	—	—	—
20d	—	—	—	—	1d	—	—	—
20e	—	—	—	—	—	—	—	—

Nota: O traço significa que o tipo não existe na região, mas ocorre largamente em outras regiões do Estado.

Dos 24 tipos, 10 são arenosos e de fraca distribuição geográfica (grupos 1, 3, 18 e 22) e 14 são argilosos, muito mais comuns na região de São Paulo (grupo 2, 4, 17, 20 e 21). Daí a predominância de solos de boa estrutura física. O grupo 22, ao qual pertencem as orlas arenosas de várzeas, bem como bancos de antigas ilhas arenosas, só se encontra na região de São Paulo em pequenas extensões, ao sopé e nos vales de serras. A maior mancha fica na várzea do rio Pinheiros, abrangendo a parte mais baixa do bairro Butantã. Foi drenada pela retificação e canalização do rio.

A avaliação das áreas ocupadas pelos 24 tipos de solos, um por um, ainda não foi feita, pois depende do levantamento aerofotogramétrico, que ainda não está terminado. Quando estiver pronto, o autor destas linhas o usará para tentar edição de um mapa de solos da região, pois a base terrestre para isto necessária está quase completa.

A falta de delimitação das áreas de interesse agrícola, com exclusão da área edificada e pavimentada, impede que se avaliem no momento as áreas dos vários tipos de solos, mesmo muito a "grosso modo".

Mas, para que os leitores possam classificar qualquer solo da região ou identificar um solo conhecido, daremos a descrição das condições visíveis no campo e a relação das características físicas e químicas típicas.

Preliminarmente, porém, passemos em revista os resultados analíticos verificados, para podermos explicar melhor a sua significação

## CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS

O grau de acidez. — O pH variou normalmente entre 3,8 e 5,4. A interpretação geral para o Estado de São Paulo é a seguinte:

1. solo "excessivamente ácido" = abaixo de 4,6.
2. solo "muito ácido" = entre 4,6 e 5,2.
3. solo "ácido" = entre 5,2 e 6,0.
4. solo "levemente ácido" = entre 6,0 e 6,8.

Valor de pH acima de 7, que é o pH neutro, encontra-se hoje tão raramente no Estado de São Paulo, que o melhor é deixar de mencionar a sua existência. As terras rãs virgens (grupo 14) davam valores de pH acima de 7, atingindo às vezes 7,5 e mesmo 7,6. Algumas terras arenosas da parte Noroeste do Estado (grupo n.º 16), de pequena profundidade sobre arenito cretáceo com cimento calcáreo localmente chegaram a apresentar pH superior a 8, e davam efervescência com ácido clorídrico pingado diretamente sobre o horizonte C exposto em barrancos de estrada. Hoje, com erosão, lavagem pelas chuvas, queimadas e cultivo tanto mais intenso, quanto mais rico é o solo, tudo isto desapareceu. Atualmente os valores de pH dos solos do Estado de São Paulo ocupam uma escala que começa com 3,8 ou mesmo 3,7 e vai até 6,8. E, se valores de alguns décimos acima de 7 puderem ser encontrados em alguma gleba miraculosamente preservada por litígios entre herdeiros, não será o caso de classificar tais solos de "levemente alcalinos", pois não apresentam problema algum ligado à alcalinidade (6). A razão disto é o clima acidificante: verão muito chuvoso, inverno quente e total de precipitação muito maior que o da evaporação (7).

Na região de São Paulo os valores do pH apareceram mais baixos que no Estado em geral, para os mesmos tipos de solos. A razão disto deve ser procurada nas condições do clima, que é mais acidificante que no Estado em geral. Não deve ser questão de intensidade do uso do solo, empobrecendo-o: é verdade que o homem mexeu mais nas terras dos arredores da Capital que nas do Estado em geral, mas o fez sempre com cuidado, adubações e controle da erosão, ainda que usando sistemas pouco racionais.

Dos solos do município de S. Paulo estudados, somente alguns, dos tipos 2a, 1c e 1d deram pH acima de 5,2. Os solos menos ácidos dos grupos 20 e 21 deram pH = 4,9. Houve 3 casos de pH altos em consequência da correção havida:

- 1) uma várzea do tipo 20b, tratada com muito lixo da cidade e tanta cal, que pedaços brancos de todos os tamanhos eram

- visíveis no campo (eram restos de construções e rebôco, às vezes com cimento), deu pH = 7,1;
- 2) Outra várzea, de solo 20d, apresentava alguma cal e seu pH era 5,1;
  - 3) um solo do tipo 17c, de jardim de residência de certo luxo, num ponto em que anos antes os pedreiros apagaram cal para construção, o solo tendo sido revolvido e bem misturado, deu pH = 6,0.

Diversos solos dos tipos 17 a e 17b deram pH de 4,0 a 4,2. Amostra tomada na mata virgem do parque da Avenida Paulista, de solo 17b, deu 4,0. Trata-se do espigão divisor entre o rio Tietê e o seu afluente Pinheiros: o ponto mais chuvoso da cidade de São Paulo. Algumas das várzeas deram pH entre 4,5 e 4,9 por terem sido tratadas com cinzas e cal ou regadas durante muitos anos usando água de torneira, cujo pH é de 8 a 8,5 graças à correção com cal nas estações de tratamento.

Verificou-se que, para os mesmos tipos de solo, as terras do Cinturão de São Paulo apresentaram valores de pH de 3 a 5 décimos mais baixos que os do Estado de São Paulo em geral, com exceção das várzeas adubadas.

O pH em solução salina é, ao contrário, bastante alto, principalmente fóra das faixadas: sinal que é alto o teor de sesquióxidos livres em consequência da laterização. No mundo em geral, bons solos apresentam pH em solução salina próximo de 3. No Estado de São Paulo, excluindo as terras róxas, devemos ter valor próximo de 4.

**Cálcio permutável.** — O mínimo encontrado, num solo do tipo 20e, foi 0,05 miliequivalentes, valor êste dos mais baixos já verificados no mundo. Quase todos os solos dos grupos 20 e 21 deram de 0,10 a 0,75 ME (miliequivalentes). Houve apenas um caso, de solo do tipo 20b, com 1,5 ME: foi o que deu pH = 4,9.

Os solos do grupo 17 variaram em Ca entre 0,2 e 0,5 ME. Os do grupo 1 entre 0,3 e 0,85 ME. Os do grupo 3 entre 0,1 e 0,65. Houve um solo do tipo 2a que deu 3 ME e outro que deu 2,2. Estes já são valores regulares. Os demais são baixíssimos.

O solo neutralizado com excesso de cal deu 8,5 ME de cálcio permutável. O que tinha sido tratado recentemente e com pouca cal, deu 0,6 ME. O solo 17c de jardim de casa deu 2,2 ME. O do tipo 17b de mata virgem deu 0,12 ME.

No Estado, em geral valores inferiores a 1 ME são considerados demasiadamente baixos. Não se contando a batatinha e o arrôz, nenhum solo deu resultados satisfatórios com tão baixo teor de cálcio trocável. Houve casos de produção de mandioca, café, chá

e algumas verduras (em baixadas), considerada boa pelos respectivos lavradores, mas nos mesmos tipos de solo produções muito mais altas das mesmas plantas foram obtidas quando o Ca trocável era mais alto.

**Magnésio trocável.** — A variação no município de São Paulo foi de 0,03 ME a 0,35 ME. Houve casos de solos do grupo 20, muito ricos em húmus, em que o Mg era de 0,12 ME quando o Ca não passava de 0,10 ME. É por que o Ca é mais sujeito à lixiviação que o Mg, pois o teor deste foi sempre mais baixo que o daquele nos solos virgens. Nas condições naturais, somente alguns dos mais pobres entre os solos dos tipos 4b e 4c (derivados de filitos, sericitaxistos e filitos grafitosos) têm apresentado teores permutáveis de Mg algo mais altos que os de Ca. Não se contando tais casos, o Mg geralmente aparece tanto mais baixo, quanto menor o teor de Ca. Este foi também, o aspecto mais comum da questão na região de São Paulo.

O solo tratado com cal abundante deu 0,39 ME de Mg permutável. O solo turfoso que deu 0,05 ME de Ca, apresentou 0,12 ME de Mg. O solo 17b virgem acusou 0,08 ME de Mg.

Considera-se, no Estado, em geral, que teor de Mg permutável inferior a 0,06 ME é o que deve começar a preocupar o agricultor. Mas o adubo magnésiano não é necessário, pois todos os solos precisam de calcáreo e este corrigirá a deficiência de magnésio por mais cálcico e menos magnésiano que seja.

Não há, pois, problema quanto ao magnésio: em 57 análises, somente 12 acusaram teor insuficiente, o qual será corrigido com o primeiro uso de calcário.

O estudo dos solos da região de São Paulo parece confirmar a idéia que tivemos ao estudar os solos do Estado em geral, de que, com exclusão dos tipos 4b e 4c, teor permutável de Mg mais alto que o de Ca significa que o solo foi submetido a intensa lixiviação nas últimas dezenas de anos.

**Potássio permutável.** — É necessário à produção agrícola em doses muito maiores que as do magnésio. No entanto, somente em 6 dos 57 casos verificaram-se teores superiores a 0,20 ME de potássio trocável, o que pode ser considerado teor suficiente para o início do cultivo em geral. Em 32 casos o teor era inferior a 0,10 ME, isto é, muito baixo. E houve mesmo 5 casos de teores ínfimos, inferiores a 0,05 ME. No Estado em geral, é considerado pobre em potássio o solo que apresenta teor inferior a 0,20 ME.

É interessante notar que a amostra T-337, de solo turfoso, de 0,05 ME de cálcio, apresentou 0,30 ME de potássio. A explicação é que se trata de resíduos orgânicos mal decompostos, o que, aliás, se vê mesmo a olho nú, depois de secar o solo. O teor de Mg per-

mutável já era mais que o dobro do cálcio. Esta proporção de 0,30 de K para 0,12 de Mg para 0,05 de Ca é muito próxima da proporção destes elementos nas cinzas de plantas que crescem em solos excessivamente ácidos e pobres. De fato, o solo turfoso em questão possui 25% de resíduo orgânico e 75% de argilas e areias finas lavadas: o quimismo permutável da parte orgânica sobrepujou de longe o da parte mineral, demasiadamente lixiviada.

O valor mais alto, 0,48 de K permutável, verificou-se na única terra neutra, a que foi tratada com excesso de cal e lixo da cidade.

**Manganês trocável.** — Deu este elemento oscilação total de valores entre 0,003 e 0,040 ME. O teor mais baixo foi encontrado numa camada branca de argila aluminosa no sub-solo de um perfil do tipo 20d. Diversas amostras deram 0,005 ME, mas quase sempre em profundidades superiores a 50 cm. Na camada arável de terras fora de baixada, tal teor baixo só foi verificado em 3 solos do grupo 3. No geral, o Mn trocável foi tanto mais alto, quanto maior o teor de matéria orgânica, mas não nas várzeas lavadas. Nestas o Mn pode vir a faltar com a utilização do solo mediante aplicações de calcário e de adubos.

Visto que os solos excessivamente pobres em húmus não poderão passar sem adições liberais de composto orgânico, tortas e estêrco, a necessidade da inclusão do manganês na adubação provavelmente só pode surgir nas várzeas que apresentarem teor de Mn permutável inferior a 0,01 ME. Cerca de 20 kg de dióxido ( $MnO_2$ ) por hectare, adicionados na adubação, devem resolver os casos comuns, e cerca de 30 kg os casos de falta mais aguda. O Mn é elemento essencial: não há plantas capazes de crescer sem ele. É, porém, um dos elementos chamados "menores", isto é, necessários em pequenas quantidades. Um dos sintomas da falta de Mn é a clorose: a folhagem torna-se esbranquiçada na periferia e de um verde demasiadamente pálido no centro das fôlhas. É necessário distinguir tais sintomas dos que acarreta o excesso de água nas várzeas mal drenadas, muito semelhantes para certas plantas, como, por exemplo, o milho.

**Amônio trocável.** — Não foi estudado no Estado de São Paulo em geral por terem sido ínfimos e efêmeros os seus valores. No caso da região de São Paulo, onde as várzeas contribuem, ou poderiam contribuir com o grosso da produção agrícola, o número de amostras que deram valores apreciáveis, de 0,02 ME, atingindo mesmo em raros casos, até 0,10 ME, chamou a nossa atenção. Mas os casos mais comuns foram de 0,01 a 0,03 ME.

Apesar de se tratar de nutrimento muito importante, pois o amônio trocável veio da decomposição das proteínas e, portanto, da solubilização do nitrogênio total, pode a sua presença indicar difi-

culdações de oxidação por falta de arejamento ou em consequência de pH demasiadamente baixo que inibe a proliferação de bactérias nitrificantes. Ao menos em diversos casos, principalmente quando é excessivamente baixo o teor de nitratos, teor alto de amônio permutável significa defeito e não virtude do solo.

**Soma das bases permutáveis.** — Participam aqui, além dos elementos mencionados, também sódio, lítio (ambos não essenciais), ferro ferroso, cobre, zinco (êstes três essenciais) e outros catiônios em quantidades mínimas que não alteram a soma das bases trocáveis e só são perceptíveis na análise espectrográfica.

Como sempre acontece nos climas úmidos, nos solos não excessivamente lixiviados o teor de Ca trocável constituiu cerca de 80% da soma das bases permutáveis. Somente no caso de várzeas brejosas, e de alto teor orgânico, principalmente nas turfosas, a participação do cálcio no total dos catiônios baixa muito, podendo ser inferior ao magnésio e mesmo muito inferior ao potássio. Além de tremenda descalcificação, temos aqui o caso de depósito orgânico, cujo teor trocável reflete a composição das cinzas dos detritos vegetais. Essas cinzas são invariavelmente mais ricas em potássio que em cálcio. Graças à maior resistência à lixiviação, o teor de magnésio sobrepuja também o de cálcio.

Considera-se bom para o Estado de São Paulo teor de bases trocáveis ("S") superior a 4 ME. O único solo que o ultrapassou, na região de São Paulo, foi o tratado com muito lixo e cal: 9,6 ME. Das outras 56 amostras analisadas, 39 não atingiram 1 ME, valor êste tão baixo que não permite o cultivo do solo. Adubações sem calagem não são capazes de elevar bem as bases permutáveis, e, em seguida a um ou dois anos de adubação, seguem-se normalmente 2 a 4 anos de lixiviação do solo sem uso prévio de adubo algum.

A terra de jardim misturada com cal deu 2,9 ME de bases permutáveis, e a que recebeu pouca cal, deu 1,1 ME. Houve nada menos que 19 solos (33%) com teores inferiores a 0,5 ME, o que constitui pobreza química extrema.

**Alumínio permutável.** — Esta característica, também chamada "acidez nociva", é de valor negativo, pois constitui veneno às plantas, ao invés de alimento. Quando falta cálcio no solo, as plantas absorvem alumínio e se envenenam. O solo se povoa de plantas capazes de tolerar altos teores do alumínio permutável. Tais plantas não nutrem os animais e são quase tôdas regeitadas pelos herbívoros. A vida da superfície terrestre baseia-se no cálcio. O alumínio é elemento antagonico: desaparece da cena (passa do estado

permutável ao total, insolúvel), quando aparece o cálcio, que é o anjo da guarda dos seres vivos.

O estudo geral dos solos do Estado de São Paulo indica que valores de Al permutável acima de 1 ME não permitem boa produção agrícola, mesmo de culturas dotadas de certa resistência ao veneno. Então não há fórmula de adubação que dê bom resultado sem uso de calcáreo. Com teor de Al acima de 2 ME o solo se torna improdutivo. Com teor da ordem de 0,5 ME, há plantas que produzem ou podem produzir bem sem o uso de calcáreo. Mas as plantas mais exigentes e nutritivas só produzem bem quando o Al trocável não passa de 0,15 ou 0,2 ME. Para a alfafa, convém diminuir o Al trocável a 0,1 ME, pois com teores mais altos ela não poderá resistir no solo mais que uns 3 anos. Não fosse esta sensibilidade ao Al, a alfafa não poderia ser a rainha das forragens.

Excluindo os 2 solos tratados com bastante cal, somente 7 em 55 deram valores de Al inferiores a 1 ME, e nenhum deu menos que 0,6 ME. O solo neutro, de pH = 7, deu 0,1 ME de Al; o outro, tratado com cal em pequena quantidade, deu 2,0 ME. O de pH=6, de jardim, deu 0,5 ME. Houve 18 casos (mais que 30%) de teor de Al permutável superior a 2 ME, sendo 7 deles (12%) com mais de 4 ME de Al. O solo virgem do tipo 17b deu 4,2 ME de Al, o seu pH sendo 4,0 a par de 0,12 ME de Ca, 0,08 ME de Mg e 0,17 de K.

Mas, desaparecendo o húmus com numerosas queimadas, a desidratação dos coloides e a própria oxidação do ferro no solo lavado tendem a atenuar o excesso de acidez e insolubilizar o Al, de modo que o teor deste nos solos vermelhos do tipo 17c geralmente não ultrapassa de 2,5 ME.

O máximo verificado foi de 5,2 ME, numa terra do grupo 20 argilosa e pobre em húmus. Neste caso, a abundância e permanência da água no solo impediu a oxidação do ferro e a desidratação dos coloides minerais.

**Hidrogênio trocável.** — Também chamado "acidez inócua", é teor que aumenta com a percentagem de húmus e falta de cálcio (húmus ácido), com o teor de argila e com o teor médio anual de água no solo.

Se as bases trocáveis são pratos de comida para as plantas e o alumínio trocável é prato com veneno, então o hidrogênio trocável é prato vazio. Mas a existência de muitos pratos vazios sobre a mesa possui sua vantagem: ao menos representa a possibilidade de enchê-los com comida. Em outras palavras, solo com alto teor de hidrogênio permutável pode ser melhorado ao ponto de se tornar excelente. Porém, antes de começarmos a encher os pratos com

comida, a planta com dificuldade encontra o que comer no meio de tantos pratos vazios.

Os solos do grupo 15, arenosos, existentes na parte Noroeste do Estado de São Paulo, apresentam geralmente menos de 1 ME de Al permutável e teor idêntico de bases permutáveis, ao passo que o teor de hidrogênio permutável não passa de uns 4 ME. Os solos argilosos do grupo 17 da região de São Paulo apresentam geralmente igual soma de bases permutáveis, mas o dobro de Al trocável e mais que o dobro de H trocável. Há relativamente mais comida e menos veneno nos solos do grupo 15, mas eles não podem conter mais de 5 ME de cálcio permutável, ao passo que os do grupo 17 podem receber 10 e mesmo 12 ME. O tempo necessário para isto é de dezenas de anos, mas a possibilidades teórica não deixa de ser significativa: os solos 17 podem adquirir nível de fertilidade muito mais alto que o máximo possível dos solos do grupo 15.

**Sorção catiônica ou BEC** (base exchange capacity). — É a soma das bases trocáveis com os acidóides trocáveis, que são o Al e o H. Portanto, é a capacidade total de troca. No sentido figurado que utilizamos acima, seria o número total de pratos sobre a mesa. Solos arenosos possuem número baixo, como no exemplo dado, de solo do grupo 15; os argilosos e húmidos dão número alto, como os solos do grupo 17. Argilas magras produzem sorção catiônica mais baixa que as gordas. Solos pobres possuidores de sorção catiônica baixa dificilmente podem ser melhorados, ao passo que, com sorção catiônica alta, poderão atingir grande fertilidade se convenientemente tratados.

Quando o solo é lavado pelas chuvas, maltratado pelas enxurradas e empobrecido em húmus e em atividade coloidal pelas queimadas, a sorção catiônica baixa: desaparecem da mesa os alimentos e mesmo alguns dos pratos que os continham. Quando, ao contrário, incorpora-se ao solo matéria orgânica, aparecem pratos novos, porém com pouca comida, se não se usar calcáreo, cinzas ou adubos.

À semelhança da sorção catiônica, existe no solo *sorção aniônica*, isto é, capacidade de absorver ou fornecer (dessorver) aniônios. Nestes fenômenos coloidais, o papel do fósforo é tão importante que constitui praticamente o único ator em cena. Também quanto à sorção aniônica os solos arenosos são pobres e os argilosos são ricos, mas os sesquióxidos de ferro e alumínio, praticamente sem sorção catiônica, são, entretanto, dotados de poderosa sorção aniônica. Quanto aos cationios, as argilas gordas os retêm e fornecem em quantidades maiores que as argilas magras. Quanto aos aniônios é o contrário que acontece: as argilas magras são dotadas de maior atividade neste sentido. Isto significa, por exemplo, que solos ver-

melhos e os caoliníticos são capazes de fixar enormes quantidades de adubos fosfóricos sem cedê-los às plantas: trata-se de grande capacidade de adsorção. Para realizarmos a dessorção (entrega do fósforo pelo solo às plantas) devemos tratar o solo com grandes quantidades de matéria orgânica. Mas devemos também juntar calcáreo nos nossos solos ácidos para que o fósforo dessorvido não seja carregado pelas águas ou, mais tarde novamente imobilizado pelo ferro e pelo alumínio, mormente quando se promove a necessária drenagem das várzeas.

Dêste modo, a sorção aniônica comporta-se de maneira algo diferente no nosso exemplo de mêsca com pratos. Seriam como que pratos com comida tampados, fechados. Solo altamente caolinítico ou laterítico tem muito pratos aniônicos vazios. Se adubarmos com fosfatos, solúveis ou não, os pratos se enchem, mas ficam fechados para as plantas. É preciso abrir os pratos com a chave que é a matéria orgânica, e, depois, impedir com calcáreo que as chuvas carreguem a comida.

Os termos adsorção, absorção, dessorção e sorção pertencem ao domínio da química coloidal (alguns preferem dizer "colóidica", pois se trata de estudo limítrofe entre a química e a física). O termo *sorção* engloba os demais. *Absorção* é quando elementos nutritivos entram para dentro das plantas. *Adsorção* quando ficam prêsos na superfície dos colóides do solo. E *dessorção* quando se desprendem dessa superfície e ficam livres. Os nitratos, por exemplo, não são adsorvidos pelo solo: estão em constante estado de dessorção. Por isso, só permanecem no solo quando o fluxo de água é de baixo para cima, isto é, quando a evaporação é maior que a precipitação atmosférica.

Pelo sistema holandês (Hissink), a sorção catiônica é chamada "T". Quase todos os solos da região de São Paulo deram bons valores de "T". Mesmo os dos grupos 3, 18 e 1, de areia por vezes grosseira, não apresentaram os valores tão baixos como frequentemente se encontram neles em outras regiões do Estado (8). Este fato deve ser atribuído ao clima, mais úmido devido a temperaturas mais baixas, maior nebulosidade e menor evaporação.

Valores algo baixos só foram observados no sub-solo: horizontes B e C, onde, por falta de húmus e presença de acidez mineral, a atividade coloidal das argilas se acha amortecida, inerte, sem vida. Neste caso os solos vermelhos terciários, argilosos do tipo 17c, deram valores muito baixos, de apenas 4 a 6 ME, devido ao teor alto de ferro e falta de bom arejamento e, portanto, de meteorização. Teor alto de argilas estabelece condições de quase impermeabilidade. Trata-se de solo laterizado, fato este diretamente evidenciado pelos baixos índices *Saf*, de que trataremos mais adiante.

**Saturação catiônica.** — É a relação percentual entre as bases permutáveis existentes e a sorção catiônica total. No sistema holandês, é designada pela letra "V". Na nossa linguagem figurada seria a percentagem de pratos com comida no total de pratos existentes sobre a mesa. Indica a facilidade com que as plantas encontram nutrimento no solo, ou seja, a probabilidade das raízes absorverem nutrimento por entre o Al permutável tóxico e o H permutável inútil que só aumenta a fome.

A saturação catiônica, nos climas úmidos brasileiros, constitui verdadeiro resumo das condições de fertilidade química do solo. Valores superiores a 50 são aqui essenciais para que um solo possa ser quimicamente pobres. Abaixo de 15, o cultivo pode ser considerado impossível sem usar calcário e adubos químicos.

Verifica-se que, entre quase 6 dezenas de amostras analisadas, apenas uma pode ser considerada de solo bom, pois atinge o índice 57: é a várzea drenada e tratada com excesso de cal, rebôco e lixo da cidade. Três solos deram índices de 24 a 28½: foram os dois solos do tipo 2-a e o jardim caseiro bem adubado. A terra vermelha usada para ser misturada com estêrco e aplicada em gramados deu 16,2. Todas as outras amostras apresentaram índices *V* abaixo de 15, com exceção das camadas mais profundas dos solos terciários, sem sentido agrícola. O caso aqui era de tão poucos pratos, que um só deles com comida já constituía alta percentagem. Nada menos que 41 amostras (72%) apresentaram índice *V* menor que 10.

Se índice *V* inferior a 15 deve ser considerado proibitivo para se cultivar uma terra, que dizer dos índices abaixo de 5? Pois entre as 38 amostras de solos superficiais, 18 deram índices inferiores a 5 e 2 inferiores a 1. Este último caso, pelo que sabemos, constitui raridade no mundo. Houve 7 casos de 20 a 30 ME de sorção catiônica enquanto o total de bases permutáveis não passava de apenas 0,25 a 0,35 ME, tendo sido o alumínio nocivo, por si só, quase 20 vezes maior que isto. Os casos de *V* inferior a 1 são de 2 solos do tipo 20-e (solos turfosos de várzea inundável), situados a leste de Susano e a oeste de São Miguel, este último colhido entre as profundidades de 40 e 60 cm: camada preta de húmus com abundantes fiapos de raízes meio apodrecidas de cor marrom escura, tudo encharcado de água apesar da época, que foi a parte final da estiagem. Trata-se, portanto, de excessiva lavagem do solo pelas chuvas durante todo o ano. O pH, entretanto, não foi mais baixo que 4,4. No Canadá, na Escócia e na Suécia, várzeas idênticas, com *V* de 2 a 5, deram pH próximo de 3,5: a explicação é que o clima frio, com vários meses de solo gelado, condiciona caráter mais ácido do húmus. O cálcio permutável nessas várzeas turfosas estrangeiras era em torno de meio ME, ao passo que nas nossas era de 0,10 ME em ambos os casos.

Foi diante de análises de solos de qualidade semelhante que Vageler exclamou, em 1937: "Mas de que vivem ali as plantas?" Em resposta pode-se citar uma verdadeira lei da natureza: "Haja água e sol, que haverá sempre vegetais capazes de afrontar quaisquer tipos de dificuldades possíveis".

Mas acontece que as plantas cultivadas são da nobreza do reino vegetal. Distinguem-se por suas necessidades elevadas. Não fosse assim, o homem não as teria escolhido. O homem necessita da seiva da terra. É a planta que não sugue bastante desta seiva, não pode servir ao homem. Isto é verdade não só em relação às plantas que constituem ou produzem alimentos, mas também às que produzem óleos, fibras, essências, etc.

Mas vejamos melhor o caso daquelas duas várzeas, quase inteiramente revestidas por capins que o gado e mesmo as cabras rejeitam (mas não rejeitam os brotos novos: daí as queimadas quase trimestrais, arruinando cada vez mais o balanço químico do solo). A várzea que fica a sudeste de Suzano apresenta 0,32 ME de bases permutáveis úteis (são os pratos com comida), 4,8 ME de Al permutável (os pratos com veneno, 15 vezes mais numerosos), e 31 ME de H permutável (pratos vazios, quase 100 vezes mais numerosos que os de comida). O índice  $V = 0,9$  resulta da relação percentual entre 0,32 e 36,1 (soma de 0,32 com Al e H permutáveis). Na outra várzea, a oeste de São Miguel, temos 0,25 ME de soma das bases úteis, 5 ME de Al e 23 ME de H, com o seguinte valor de V:

$$V = \frac{0,25}{0,25 + 5 + 23} \times 100 = 0,88$$

**Fósforo.** — O teor disponível mais alto foi o da várzea tratada com muito lixo e cal: 0,45 ME. No Estado de São Paulo, em geral, é considerado bom o teor superior a 0,3 ME. Os dois solos do tipo 2a deram 0,30 ME; uma várzea enxuta perto de Guarulhos, adubada com fosfatos, deu 0,32 ME. Quatro outros solos deram de 0,17 a 0,25 ME. O jardim adubado deu 0,15 ME; a várzea úmida tratada com pouca cal deu 0,12 ME. Este já é um teor muito baixo, que deve ser reforçado com adubo fosfórico para qualquer cultura.

Dos 38 solos superficiais, 19 deram teores não superiores a 0,10 ME de fósforo disponível. Sete deles não passaram de 0,05 ME, teor este que pode ser considerado ínfimo. O solo que deu o teor mais baixo, foi um do tipo 3b, com apenas 0,03 ME.

O teor permutável é sempre mais alto que o disponível, pois este constitui uma parte daquele. São considerados bons os solos que possuem mais que 0,8 ME de fósforo permutável. Das 57 amostras

da região de São Paulo, 7 apresentaram esse teor, e 8 outras teor ainda maior, atingindo o máximo de 1,6 ME, precisamente na terra usada para melhorar gramados de residências ricas e jardins.

O exemplo desta última é interessante: para um teor permutável de fósforo de 1,6 ME, o teor disponível era de apenas 0,05 ME. A explicação está nos outros dados obtidos: trata-se de horizontes B e C de profundidade entre 0,5 e 2 metros, contendo concreções limoníticas do tamanho de areia grossa (até 2 mm de diâmetro), com teor muito baixo de húmus (0,69%), índice molecular *Saf* ou sílica/ sesquióxidos ( $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ ) muito baixo (0,63) e  $\text{pH}=4,8$ . Sem dúvida, trata-se de solo num grau adiantado de laterização, este processo de diagênese (transformação) do solo sendo nocivo justamente por provocar insolubilização do fósforo em forma de fosfatos de ferro e alumínio. Visto que esta terra se emprega de mistura com muito estêrco (quase em partes iguais), este promove a solubilização do fósforo. Portanto, tal tratamento dos jardins e gramados realmente funciona como adubo fosfórico e azotado (o azoto vem com o estêrco). Mas com o tempo, depois que os microorganismos decompõem todo o estêrco, o fósforo torna a insolubilizar-se. Para impedir isto, dever-se-ia adicionar ainda bastante calcáreo em pó, o qual manteria o fósforo disponível no estado de fosfatos di- e tricálcicos, de modo que o efeito se prolongaria por 2 ou mesmo 3 anos. Talvez a adição de calcáreo não se faz justamente para que os donos dos gramados e jardins sejam obrigados à mesma despêsa anualmente.

É interessante notar que, para 0,65 ME de cálcio permutável, havia 1,6 ME de fósforo permutável. Por ser muito baixo o conteúdo orgânico, e inteiramente humificado, os restantes 0,95 ME de fósforo deviam achar-se quase totalmente imobilizados no estado de fosfatos de ferro e alumínio. É também uma prova que o teor trocável de fósforo possui significação muito menos valiosa que o teor disponível, visto que os fosfatos de Al e Fe não alimentam as plantas.

É claro que tratamento completo dos gramados e jardins exigiria, para 1 m<sup>3</sup> de terra e 1 m<sup>3</sup> de estêrco, uns 20 a 30 kg de calcáreo em pó e pedrisco miúdo, e mais umas 800 gramas de cloreto de potássio. Vê-se que a adubação poderia ser completada praticamente sem aumento de despesa. A área geralmente tratada com 2 m<sup>3</sup> de mistura é de 100 a 150 m<sup>2</sup>.

Os teores solúveis de fósforo foram baixíssimos: 42 amostras deram teores inferiores a 0,01 ME, das quais cerca de metade não tinham nem 0,005 ME. Oito amostras deram 0,01 ME, 3 deram 0,02 ME, houve um solo do tipo 1c com 0,03 ME (justamente a terra natural com pH mais alto: 5,4); e um só com 0,05 ME de

fósforo solúvel, que foi justamente o da várzea tratada com excesso de lixo e cal.

No geral, o teor solúvel de fósforo mostrou-se tanto mais baixo, quanto menores foram o teor disponível, o pH e o teor de húmus. Teor solúvel alto, aliás, não é de grande vantagem, pois as plantas absorvem bem o teor disponível. Entretanto as chuvas lixiviam o teor solúvel e não o disponível. As perdas, contudo, são mínimas, pois as argilas do sub-solo fixam novamente o fósforo solubilizado na camada superficial. Só pode haver perdas nas terras que, abaixo de camada fina e fôfa de solo superficial, apresentam sub-solo argiloso impermeável. Nestas condições, basta declividade muito pequena para que se formem enxurradas, pois bastam poucos dias de chuva para saturar a camada superficial, de modo que novas gotas de chuva não podem entrar mais na terra. Não se contando brejos muito arenosos (não os vimos no município de São Paulo), as enxurradas nesta parte do mundo são praticamente as únicas causas da perda de fósforo pelas terras.

**Húmus.** — Foram constatados tanto solos pobres como demasiadamente ricos neste particular. Os solos do tipo 20e, turfosos, são fracos e dificilmente podem ser corrigidos justamente pelo excesso de matéria orgânica: exigem grandes quantidades de calcário e muitos anos para que, com altas doses de sulfato de amônio, possam apresentar alta fertilidade.

O teor máximo de húmus encontrado foi quase de 25%, isto é, em 100 gramas de solo sêco havia 25 gramas de matéria orgânica seca. Neste caso é impróprio falar em "húmus", pois a matéria orgânica é em sua maior parte crua, apenas parcialmente atingida pela humificação, assim como existe matéria orgânica que passou o ponto de humificação máxima, tendo já atingido certo grau de "mineralização", isto é, estado inicial da formação de hulhas. Os teores dos outros solos do tipo 20e deram 21½ e 18% de "húmus".

Os teores apresentados pelos solos do tipo 20d foram de 8,65 a 15,7% na camada superficial. Alguns deram, nesta camada, menos que 10% e, na camada seguinte, à profundidade de 40 a 70 cm, teor mais alto, próximo de 12%.

Não foram analisados solos do tipo 20a, porque todos eles não pareceram naturais, e sim, resultantes de movimento de terra, principalmente misturas com argilas e areias brancas do sub-solo ou com terra eluvial de encostas de colinas adjacentes. Os solos do tipo 20b apresentaram de 4,7 a 6,2% de húmus. Os do tipo 21b, de 3½ a 6½%.

Fóra das baixadas, o teor mais comum foi de 1½ a 2%. Casos de teor inferior a 1% não se verificaram na camada superficial, ao

passo que são bastante frequentes nos algodoads bem produtivos da parte Noroeste do Estado de São Paulo, nas terras arenosas do grupo 16.

Isto mostra que no planalto úmido elevado de São Paulo, de clima quase temperado, o húmus possui certa estabilidade.

Para o Estado de São Paulo, em geral, costuma-se considerar pobre em húmus o solo com teores inferiores a 1,7%, sendo tido como teor regular 1,7 a 2,6%, teor bom de 2,6 a 3½% e alto de 3½ a 5%.

Vê-se que o maior mal das terras do município da Capital é a acidez e a pobreza química, e não a falta de matéria orgânica. Deve-se este fato à inexistência de solos muito arenosos com excessivamente baixos teores de argila (menos que 4 ou 5%).

**Nitrogênio.** — Os maiores teores totais de nitrogênio foram de 0,25 a 0,40%, achados em solos dos tipos 20d e 20e. No Estado de São Paulo, em geral, são considerados bons os teores superiores a 0,14%, e francamente deficientes os inferiores a 0,10%. Como veremos logo adiante, aqueles teores altos dos solos dos tipos 20d e 20e não indicam que adubos azotados sejam inúteis: a acidez e a pobreza do solo em cálcio e potássio impedem a solubilização do nitrogênio total pelos micro-organismos.

**Índice C/N.** — É a relação percentual entre os teores totais de carbono (húmus dividido por 1,72) e nitrogênio. Os índices melhores são os próximos de 10, não inferiores a 9 e nem superiores a 12.

Na região de São Paulo foram encontrados índices oscilando mais em torno de 12 do que em torno de 10, portanto mais altos que no Estado em geral. Isto significa que, com o uso do calcáreo, que é indispensável para a produtividade dessas terras, os micro-organismos vão proliferar e decompôr a matéria orgânica intensamente. Havendo maior abundância de matéria orgânica que de nitrogênio correspondente (índices superiores a 10), os micro-organismos consumirão quantidades excessivas deste elemento, e o farão em condições de prioridade sobre as plantas cultivadas. Em resultado, as plantas terão fome de nitrogênio. Daí a necessidade de usar adubos azotados nos primeiros anos, enquanto a quantidade de calcáreo aplicado não atingir níveis altos após neutralizar sensivelmente a acidez do solo. Os adubos azotados solúveis necessários são o sulfato de amônio, na estação chuvosa, e salitre do Chile, na estação seca. Quem usa bastante estêrco, pode substituir o sulfato de amônio por uréia.

Este aspecto da questão será tanto mais grave, quanto maior o índice C/N. E os solos dos tipos 20d e 20e, com a sua aparente

riqueza de húmus, de 15 a 25%, e índices C/N da ordem de 30 e mesmo atingindo 40, necessitarão de altas doses de adubos azotados solúveis, uma vez que exigem muitos anos de aplicação de altas doses de calcário e este fará proliferar os micro-organismos, cujo consumo de nitratos será alto. Outro fator que aumentará estas necessidades é a drenagem, com o conseqüente arejamento do solo. Mas sem drenagem nenhuma terra de baixada excessivamente úmida pode ser altamente produtiva.

Vê-se que o aproveitamento do alto teor de húmus dos solos negros de baixada não é tarefa simples. Exige constantes análises do solo, uso de calcário, e profundo conhecimento da arte de adubar. Visto que nada disso tem sido posto em prática, salvo em raras ocasiões e parcialmente, fica claro por que as numerosas várzeas de terra preta têm desiludido e mesmo arruinado bons chacareiros e verdureiros.

**Nitrogênio amoniacal e nítrico.** — Não foi determinado para todas as amostras. Além disto, reflete as condições da estiagem, que foi a única época da tomada de amostras, apesar de datarem elas desde 1944 até 1953. Ambas as formas de nitrogênio são o resultado da solubilização do nitrogênio total pelos microorganismos. O teor nítrico verificado nas análises pode, além disto, reduzir-se a zero na estação chuvosa, por não ser retido pelo solo como o teor amoniacal.

Os teores de nitrogênio amoniacal e nítrico achados foram da mesma ordem de grandeza, em miliequivalentes, que os do fósforo solúvel, com a diferença, porém, que certas terras dos tipos 20d e 20e atingiram valores da ordem de 0,05 ME, com o máximo de 0,08 ME, enquanto os teores de nitratos eram tão baixos como nas demais amostras, isto é, em volta de 0,01 ME.

Parece que teor alto de húmus e de argilas, pH baixo e, principalmente, excesso de água, tendem a manter no estado amoniacal o nitrogênio solubilizado.

Quanto aos nitratos, diversas amostras apresentaram teores próximos de 0,02 ME. A maioria não passou de 0,015 ME, mas houve algumas com 0,04 ME, e uma só com teor realmente alto, de 0,14 ME. Esta foi a tal várzea tratada liberalmente com cal e lixo da cidade, com seu pH = 7,1, 8,5 ME de cálcio permutável, 4,3% de húmus e 0,21% de azoto total. Não há dúvida que em nenhuma outra época do ano esse solo poderia apresentar teor tão alto de nitratos. Nova amostra, tomada em dezembro de 1952, deu 0,012 ME de nitratos.

Quanto aos teores de nitratos e amônio geralmente considerados bons para o Estado todo, é difícil precisar as coisas, pois são teores

muito variáveis com a época do ano. No fim do ciclo vegetativo das glebas cultivadas reduzem-se geralmente a zero, pois as plantas consomem prontamente o que se solubiliza. Nas terras em descanso os teores são notáveis. No fim de cada grupo de dias chuvosos aumenta o teor amoniacal, mas diminui muito o teor nítrico.

Às vezes bom teor amoniacal denuncia defeitos do solo que dificultam a oxidação do amônio em nitratos, assim como teor apreciável destes últimos pode significar grandes dificuldades das plantas que, não podendo crescer bem, por uma causa ou outra, deixam de aproveitar o nitrato disponível, caso este, aliás, raro. Mas teores baixos de nitratos podem significar seu aproveitamento fácil e imediato pelas plantas em crescimento rápido, assim como teor baixo de amônio pode significar ótimas condições de nitrificação.

No começo do ciclo vegetativo deve-se considerar, em vista da prática havida no assunto, teor bom de nitratos da ordem de 0,04 ME, fraco o de 0,02 ME e muito baixo o inferior a 0,01 ME.

**Sulfatos e cloretos.** — Das 42 amostras analisadas neste sentido, 30 deram teores nulos de sulfatos e 28 nulos de cloretos. Só num caso teor nulo de cloretos não correspondeu a teor nulo de sulfatos. O contrário aconteceu em 3 casos. Teores nulos significam neste estudo menos que 0,005 ME por 100 g de solo seco ao ar no caso de cloretos e menos que 0,002 ME no caso de sulfatos.

Os cloretos não são essenciais, mas os sulfatos sim. Não há planta que possa viver sem enxofre, e a única forma nutritiva deste elemento é o sulfato. É inegável, porisso, a utilidade do sulfato de amônio, do superfosfato (que contém muito mais sulfato de cálcio que fosfato de cálcio) e da calda bordaleza que se usa no controle de pragas (cal com sulfato de cobre), mas acaba incorporada ao solo, aliás, em quantidades insuficientes como adubação com sulfato.

Mas toda vez que microorganismos decompõem matéria orgânica, sulfatos aparecem junto com o nitrogênio solubilizado. Portanto, nas várzeas principalmente, aplicação de boas doses de calcário em pó significa adubação com sulfato pela mesma razão, pela qual significa adubação com nitrato e manutenção do fósforo no estado disponível à vegetação.

A várzea tratada com muito lixo e cal apresentou 0,03 ME de sulfatos, que foi o máximo observado. Alguns solos dos tipos 20b, 20d, 20e e 21b deram 0,015 e 0,01 ME. A terra usada para jardins deu 0,02 ME de sulfatos, mas surpreendeu pelo teor de cloretos: 0,7 ME. A explicação disto é que a amostra foi raspada de barranco alto de estrada (após a remoção de fatia de meio metro de terra submetida à intempérie), barranco este sobre o qual já existiu depósito de lixo e mesmo fossa séptica antes de abertura da estrada, conforme soubemos dos moradores das proximidades. Não sabe-

mos, porém, explicar por que o cloreto não foi lavado. É verdade que o substrato pode ser tido como impermeável, mas não houve indício de grande falta de drenagem na estação chuvosa.

Outra amostra, de solo do tipo 20d, deu 0,25 ME de cloretos no horizonte G, situado entre os 50 e 70 cm de profundidade. Também aí foi aproveitado barranco para tirar as amostras. Desta vez foi na valeta de drenagem de 120 cm de profundidade cortando a várzea junto a um arruamento. Parece que nunca houve casa ou quintal no lugar, mas alguns meses atrás dejetos de casas dos morros vizinhos penetraram na valeta com as águas pluviais. Entretanto o horizonte C, da profundidade entre 100 e 110 cm, da mesma valeta, acusou teor nulo de cloretos e sulfatos, apesar de contato mais íntimo com os dejetos. Aconteceu, porém, que esta era camada branca de argila aluminosa com raros fragmentos de mica e pouca areia fina quartzosa, ao passo que a de cima era um barro negro com 7% de húmus que talvez adsorvera o cloreto de sódio dos dejetos quando eles passaram pela valeta. Depois as águas pluviais teriam lavado o cloreto da camada laterítica (índice  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  muito baixo: 0,75), deixando-os ainda por algum tempo, ou até a próxima estação chuvosa no barro negro sobreposto.

**Complexo coloidal mineral.** — Foi determinada a composição química da fração argila da maioria das amostras afim de obter ideia a respeito da sua natureza. Nas tabelas de dados analíticos figuram assim os totais de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), sesquióxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e óxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ). Para maior certeza sobre a natureza das argilas seria preciso obter seus roentgenogramas de difração (1) e termo-curvas diferenciais. Infelizmente não pudemos dispôr de tais aparelhos, de modo que as considerações que fazemos são baseadas na composição total do complexo coloidal e no seu confronto com os resultados roentgenográficos (9) e termo-diferenciais que conhecemos de outros solos do Estado de São Paulo.

Vê-se pelas tabelas que o índice molecular  $S_a$  (sílica/alumina) é um pouco inferior a 2 nos solos do Complexo Cristalino, um pouco superior a 2 nos solos aluviais, e muito baixo, geralmente inferior a 1, nos solos terciários.

Entre as 12 amostras do Complexo Cristalino (10) estudadas, todas de solo superficial, 6 apresentaram índice  $S_a$  maior que 2, atingindo o máximo de  $2\frac{1}{2}$ , enquanto o mínimo dos outros 6 solos não desceu abaixo de 1,88.

Entre as 16 amostras aluviais, 10 apresentaram índice  $S_a$  maior que 2, atingindo no máximo 2,91. Enquanto isto, das 21 amostras de solos terciários estudados, o índice máximo foi 1,4 e o mínimo desceu a 0,35, tendo havido mesmo 5 amostras com índice não superior a  $\frac{1}{2}$  e nada menos que 17 amostras com índice inferior a 1.

O solo superficial não apresentou índices superiores aos das camadas mais profundas.

O índice próximo de 2 significa, nos solos do Complexo Cristalino, argilas caolínicas, pois a caolinita possui índice  $Sa = 2$ . Mas, como estes solos apresentam na argila de 10 a 20% de sesquióxido de ferro, cujo índice  $Sa$  é nulo, deve-se admitir a existência de argilas mais nobres, como a illita, ou a sílica coloidal, esta pouco provável, pois somente tem sido encontrada em solos destes grupos ricos de húmus, principalmente sob mata virgem.

No geral, quanto mais alto o índice  $Sa$ , tanto mais nobre é a argila, pois seu caráter eletronegativo estabelece retenção de cátions em forma trocável e não impede que o fósforo do solo seja disponível às plantas. A mais nobre das argilas, a montmorilonita (11), possui índice  $Sa = 4$ . Visto que a laterização do solo pode ser definida pelo abaixamento do índice  $Saf$  (quociente da sílica sobre a soma de alumina com sesquióxido de ferro), isto é, índice  $Sa$  levando ainda em consideração o ferro, vê-se como é importante esta questão da estirpe da argila edáfica.

Nos solos de várzea os índices baixos, atingindo o mínimo de 0,75 nas camadas mais profundas, denotam argilas aluminosas, pois o índice  $Sa$  da alumina é também nulo. Os índices  $Sa$  altos resultaram da existência de grânulos de quartzo tão diminutos que se enquadraram na fração "argila". De fato: ataque com álcalis produziu muito maior quantidade de sílica que a obtida pela digestão ácida. Não se trata portanto de presença de argilas minerais nobres.

Os sedimentos terciários provieram da decomposição das rochas  $Sa$  baixos, típicos de solos fortemente laterizados. Deram altos teores de alumina ao lado de pouca caolinita. O índice  $Saf$  desceu a 0,3 em 3 casos. Índices tão baixos são comuns às terras róxas (12). Ora, sendo praticamente nula a contribuição de eruptivas básicas no Complexo Cristalino desta parte do Estado, como se explicam índices  $Saf$  tão baixos e com tão alta contribuição de ferro?

Os sedimentos terciários provieram da decomposição das rochas do Complexo Cristalino, mas foram enriquecidos sobremaneira em ferro e alumínio. Há solos tão fortemente vermelhos na cidade de São Paulo que somente as terras róxas os podem sobrepujar na intensidade desta cor.

A fim de elucidar esta questão, além de outras de cunho geológico, pedológico e mesmo tecnológico, fizemos em maio de 1945 amostragem completa de todas as camadas da grande excavação de Sacomã que já naquele tempo atingia a profundidade de 40 m. Foram os perfis P-21 com 17 camadas e P-22 com 19 camadas, todas analisadas, das quais damos aqui nas tabelas as características físicas

e químicas somente até às profundidades de 2 e 2½ m, respectivamente, afim de nos restringirmos ao estudo do solo.

Abaixo de 6 m de profundidade as camadas argilosas apresentaram de 4 a 5% de  $Fe_2O_3$  total, e as camadas arenosas de 1 a 2%, notando-se diminuição destes teores com aprofundidade.

No perfil P-21 a camada mais rica em ferro situava-se entre 4,4 e 5 m de profundidade e possuía 16,3% de  $Fe_2O_3$  num total de 66,8% de coloide mineral, com os índices  $Sa = 1,46$  e  $Saf = 1,04$ . No P-22 a camada mais rica em ferro era de 3,8 a 4,6 m de profundidade e apresentava 15,7% de  $Fe_2O_3$  num total de 68,3% de coloide mineral, com  $Sa = 1,24$  e  $Saf = 0,92$ . As tabelas aqui anexas mostram que daí para cima diminui muito o teor de sílica, aumenta o de alumina e diminui um pouco o teor de ferro.

É verdade que a parte final da sedimentação do depósito podia ter se processado em clima mais quente e menos seco (espessura das camadas algo maior) que a parte inicial, mas isto não explica a participação tão forte de  $Fe_2O_3$ , alcançando quase a quarta parte na composição das argilas. É forçoso admitir a existência de forte estação seca em clima tropical, ao menos alguns milhares de anos atrás, para que tivesse havido tão forte concentração de ferro na parte superficial do sedimento terciário. Mais tarde a estiagem passou a diminuir em intensidade e duração, ficando a camada ferrífera localizada na profundidade de 4 a 5 metros sob a pressão do húmus da mata. Esta teria tido desenvolvimento cada vez maior até a chegada da civilização atual que tende fazer retroceder a evolução natural da vegetação e do clima, invertendo-a, a princípio com muita dificuldade, e depois com eficiência cada vez maior.

Em outras regiões do Estado o mesmo clima pretérito não concentrou tanto  $Fe_2O_3$  na superfície do solo, mesmo com rochas mais ricas em ferro que o chamado "terciário", por que a região de São Paulo é a que apresenta para isto as melhores condições topográficas e geomorfológicas, pois aqui temos uma bacia de fundo rochoso encaixada entre serras cristalinas.

Nesta panela concentravam-se as águas vindas das serras. Intercaladas nas argilosas, as camadas areníticas, existentes desde o fundo da panela, eram bons lençóis aquíferos (alimentam hoje por meio de poços tubulares centenas de indústrias). Portanto, além de clima que permitia alta evaporação, aqui tínhamos muita água que pudesse ser realmente evaporada (13).

Sabe-se que as águas portadoras de gas carbônico (da decomposição da matéria orgânica do solo) dissolvem o ferro, passando-o a bicarbonato (14). Ascendendo na estiagem, o bicarbonato de ferro precipita sob a forma de hidróxido férrico na parte arejada do solo, acima do lençol freático, e, com a penetração do "deficit"

de unidade no solo, o hidróxido férrico desidrata-se e permanece insensível à lixiviação em regime de carência de húmus e portanto de vegetação.

Com alto total anual de chuvas, quanto mais forte e prolongada a estiagem, tanto mais próximo à superfície se aloja o ferro, formando verdadeiras concreções e capas limoníticas. Estas se formam na interface de duas camadas do solo de permeabilidade muito diferente. Encontram-se em muitos lugares na cidade de São Paulo. Podem ser facilmente examinadas em diversos barrancos à direita da entrada no túnel da Av. 9 de Julho, para quem vem do centro da cidade.

À medida que vai se agravando a estação seca, menores quantidades de ferro ascendem, por que as águas vêm menos carregadas de gás carbônico, mais próximo da superfície se aloja o sesquióxido de ferro e menos suscetível ele se torna à redissolução na estação chuvosa mais próxima. Assim, o solo exageradamente vermelho existente na cidade de São Paulo (p. ex. o espigão entre o rio Pinheiros e o Tietê) é principalmente questão de condições topográficas em clima semelhante ao que temos hoje no Triângulo Mineiro. Daquelles tempos para cá teríamos tido contínuo abrandamento da estiagem até que ultimamente a ação humana, devastando as matas de todo o Sul do Brasil, parece ter conseguido fazer o clima evoluir em sentido contrário.

**Grau de laterização.** — A intensificação da pesquisa pedológica nos climas tropicais no último decênio tende a demonstrar que o simples valor numérico do índice *Sa* ou do *Saf* não indica o grau de laterização do solo (6).

Antigamente se julgava que basta índice *Sa* inferior a 2 para indicar solo laterítico (ou "laterito", como se dizia erradamente: "laterito" é rocha, resultado de laterização extrema), pois era prova que ao lado de argilas caolínicas havia alumina livre. Hoje sabemos que há solos lateríticos com índices *Sa* maiores e solos não lateríticos com índices menores que 2.

Empresta-se hoje pouca importância a tal aspecto estático, momentâneo do solo. O que realmente importa saber é se o índice *Saf*, qualquer que seja o seu valor numérico atual, está subindo ou descendo com o tempo, isto é, interessa o aspecto dinâmico, pois o abaixamento do índice *Saf* significa que o solo está submetido ao processo de laterização.

Apenas há uma dezena de anos se considerava que as argilas não se decompunham, pois eram o produto final da decomposição: o que tinha que acontecer com elas, já tinha acontecido e nada mais podia alterá-las. Isto seria verdadeiro se fossem imutáveis os climas (11).

Mas o clima muda constantemente qualquer que seja o lugar do mundo que se considere. Com o clima muda a cobertura vegetal e o teor de húmus do solo, passando este a ser atravessado por soluções de outra composição química. A ação humana sobre o solo é evidentemente muito mais rápida que a do clima.

Qualquer que seja, porém, a causa da mudança, a lenta do clima ou a rápida do homem, as argilas podem decompor-se, e a alumina com a sílica coloidal podem mesmo combinar-se novamente produzindo não só a caolinita, como a própria montmorilonita. O tempo para isto necessário também parece sofrer notável encurtamento nas concepções mais recentes, baseadas em métodos de pesquisa mais diretos.

Tudo isto, porém, depende de numerosas circunstâncias que devem ser todas definidas. Trinta anos atrás bastava ao famoso Harrassowitz (15) encontrar num solo índice  $Sa$  inferior a 2 para declará-lo laterito. Hoje necessitamos saber o local, o clima, a rocha-mãe do solo, a posição topográfica, a natureza da vegetação, o tipo e duração da ação humana, e uma análise física e química de no mínimo uma dúzia de características, mas saberemos muito melhor de que solo se trata. O índice  $Saf$  ainda será um aspecto estático, uma espécie de instantâneo fotográfico, mas o sentido do movimento poderá ser claramente esboçado, pois já conhecemos a significação das características e dos fatores genéticos quanto à sua capacidade de condicionar os vários tipos de evolução do solo.

Tratando-se de clima que promove erosão e faz o intemperismo penetrar profundamente na crosta terrestre, basta por vezes determinar o índice  $Saf$  de dois pontos (de preferência 3), situados no mesmo local a profundidades diferentes, para obteremos o aspecto dinâmico, correspondente a 2 ou 3 instantâneos, como se tivessem sido tirados em tempos diferentes.

Voltando, após essa digressão geral, aos resultados analíticos das tabelas anexas, vemos que os índices  $Sa$  dos solos do Complexo Cristalino ao redor de 2 não deixam de indicar certo grau de laterização, mais adiantado em certas amostras, menos avançado em outras. Não fosse a laterização, o índice deveria ser bem maior que 2, pois essas terras provêm de rochas ácidas, contêm minerais em decomposição, relativamente altos teores de argila (enriquecimento da superfície pelos sesquióxidos coloidais em ascensão), a par de baixo conteúdo de argila natural, valores baixos de pH e de sais solúveis, principalmente de nitratos e sulfatos, cores vermelhas relativamente vivas, fósforo demasiadamente imobilizado, húmus baixo em relação às condições climáticas, baixa capacidade hídrica por unidade de argila total (atividade coloidal específica muito baixa), relação baixa entre o Ca e o Mg permutáveis, diferenças diminutas

entre o pH em água e em solução salina, êste último relativamente alto, participação alta do Al trocável e baixa do "S" na capacidade total de troca catiônica, eficiência extraordinária do calcário na adubação, sem diminuir a ação dos fosfatos, etc., etc..

É claro que o aspecto da laterização seria mais desenvolvido se pudéssemos considerar análises de perfis completos em vez dos horizontes superficiais.

Nos solos do grupo 17, documentados por diversos perfis (trabalhos patrocinados pela Fundação G. Vargas em 1945-48 e depois pela A. G. B.), vê-se laterização fortíssima, apenas algo atenuada no perfil P-34 que documenta a primeira colina, baixa, do Alto da Lapa na confluência do rio Pinheiros com o Tietê, e no solo virgem (T-324) do parque no alto da Av. Paulista, com quase 8% de húmus.

Quanto aos solos aluviais (16 amostras) que, se não são todos brejosos, já o foram há 20 ou 30 anos, tendo sofrido trabalhos de drenagem, não são eles lateríticos pela simples razão de não existir o processo de laterização nas baixadas. A laterização é diagênese edáfica de solos zonais, isto é, desenvolvidos em situações topográficas proeminentes, de acôrdo com a zona climática e condições de drenagem fácil. Os solos de baixada são azonais, pois o principal fator que rege a sua evolução não é o clima, e sim a água (11).

*Nota.* — As indicações bibliográficas figuram no final do trabalho, a ser publicado no próximo número do *Boletim Paulista de Geografia* (N.º 21, outubro de 1955).