

II - FATORES PEDOLOGICOS

A) — A ORIGEM DOS SOLOS POR DECOMPOSIÇÃO

Ainda que o significado da palavra solo pareça claro, é difícil dar uma definição exata de seu conceito. *Ramann* (91) definiu-o como a camada decomposta externa da crosta sólida da terra. A Pedologia moderna procura dar definições mais nítidas, nas quais entram o dinamismo e a biologia dos solos, assuntos esses que serão esclarecidos nas páginas que se seguem. O solo considerado pelo botânico é a parte da superfície da crosta terrestre que pode hospedar as raízes das plantas e que representa assim o substrato para a vegetação terrestre.

As propriedades dos solos interessam a vegetação em varios sentidos, entre os quais se destacam: 1.º — possibilidade de fixação mecânica; 2.º — fornecimento de agua; 3.º — fornecimento de substancias minerais; 4.º — aeração. Disso se deduz que temos que considerar os solos sob o ponto de vista de sua estrutura física e de sua composição química. Física e Química dos solos, por sua vez, estão em interdependencia com a vida dos organismos que povoam o solo, constituindo-se assim um terceiro aspecto, o biológico, relacionado á fauna e flora do solo, cujas associações são chamadas edaphon 1).

Sendo os solos produtos de decomposição, é preciso conhecer-se a composição da rocha-mater. Direta ou indiretamente todas as terras derivam das rochas formadas pela solidificação do magma terrestre. Apresentamos a seguir uma relação dos elementos que compõem a parte superficial da crosta terrestre, relação esta que indica a media de varias análises de rochas eruptivas, (tabela 15).

São estas as substancias que geralmente serão encontradas nas terras, pelo menos quando provêm da decomposição de rochas primarias.

Os processos que conduzem á alteração, como metamorfismo e sedimentação, podem modificar as proporções das varias substancias, aumentando umas e diminuindo outras, até, às vezes ao seu desaparecimento completo.

Como até as rochas eruptivas podem variar bastante, acrescentamos mais alguns dados sobre o teor de dois granitos, dois foiaitos e um diabasio, apresentando desta vez só os elementos mais importantes, como de costume representados pelos seus óxidos.

1) *pedon* e *edaphos* (grego) = solo.

TABELA 15

Composição média das rochas eruptivas
em % do peso

(Seg. Clarke, cit. por Heide, 41)

O	46,42	Ba	0,081
Si	27,59	S	0,080
Al	8,08	Cr	0,068
Fe	5,08	Zr	0,052
Ca	3,61	C	0,051
Na	2,83	V	0,041
K	2,58	Sr	0,034
Mg	2,09	Ni	0,031
Ti	0,721	F	0,030
P	0,158	Cu	0,010
H	0,130	Li	0,005
Mn	0,125	Zn	0,004
Cl	0,097	Pb	0,002

TABELA 16

	Granitos 1)		Foiaitos 2)		Diabasios 3)
	I	II	I	II	
SiO ₂	72,6	68,6	56,20	57,88	46,42
Al ₂ O ₃	15,6	14,4	22,12	18,34	16,31
Fe ₂ O ₃	1,5	5,0	1,60	2,31	1,72
CaO	1,3	3,9	1,56	2,26	13,71
MgO	0,3	0,4	0,8	0,86	2,82
K ₂ O	5,0	2,8	6,46	7,50	5,93
Na ₂ O	2,3	3,4	7,72	6,36	2,24
P ₂ O ₅	não indicado		0,03	0,33	4,06
H ₂ O	0,8	1,1	0,17	0,13	0,77
P.F.	—	—	1,28	0,96	0,48
					1,58

1) Seg. Girard, cit. por Benecke-Jost (5).

2) Seg. Lamego (56).

3) Seg. Backheuser (2).

A desagregação das rochas dá-se, de preferencia, por influências climáticas: o "intemperismo". As diferenças de temperatura, expandindo e contraíndo alternativamente as rochas, especialmente nas partes externas, provocam tensões que conduzem á abertura de fendas. A agua que aí penetra pode exercer uma ação química, especialmente quando carregada de ácido carbônico, nitrítos ou nitratos. Quando essa agua pode congelar, arreventa fisicamente as crostas.

Em lugares bem insolados, rochas inteiras podem ser fendidas, como indica a fig. 18; essas fendas são chamadas fendas por insolação. Também a forma arredondada desses "boulders" (como os denominam os inglezes) da figura é típica para os granitos que tendem a adotar essa configuração, porque todas as extremidades de um fragmento irregular são as primeiras a ser atacadas pelos lados e pelos ângulos. A decomposição ulterior, principalmente em nosso clima, dá-se frequentemente pelo prosseguimento da alteração esferoidal. Muitos boulders, especialmente quando enterrados, mostram-se revestidos por uma serie de cascas parecidas com as escamas de uma cebola (fig. 19). A explicação provavel para o fenómeno será a infiltração de agua, que no incio se dá pelas fendas mais externas até uma certa profundidade 1). Em condições mais secas, esta agua evapora, depositando na superficie as substancias dissolvidas, substancias essas que vamos considerar mais adiante (pag. 117). A primeira casca formada por tal cimentação nunca se fechará hermeticamente, permitindo sempre novas infiltrações de agua que vão repetir esse jogó numa segunda zona e assim por diante.

No clima brasileiro, a decomposição das rochas dá-se com grande rapidez, de maneira que a camada de decomposição que reveste as rochas cristalinas atinge, pelo menos nas partes húmidas do país, profundidades de 10 a 20 e mais metros. Assim, não é de se admirar que até as formas das montanhas mostrem em grande escala o que os boulders mostram em pequena, sendo os mamelões em forma de semi-esferas ou "meias laranjas" característicos da paisagem.

A grande profundidade que a decomposição das rochas pode atingir nas regiões quentes é de importancia cabal para toda a nossa Ecologia. Muitos ensinamentos e muitos métodos de Pedologia, usados nos países mais frios, não podem ser applicados no Brasil, especialmente por essa razão.

Como este fato nem sempre é tido na devida consideração, transcrevemos aqui algumas palavras já antigas, tiradas da meteorologia clássica de *Hann* (36), que se referem ás Americas:

1) *Literatura e descrição vide* Branner (11).

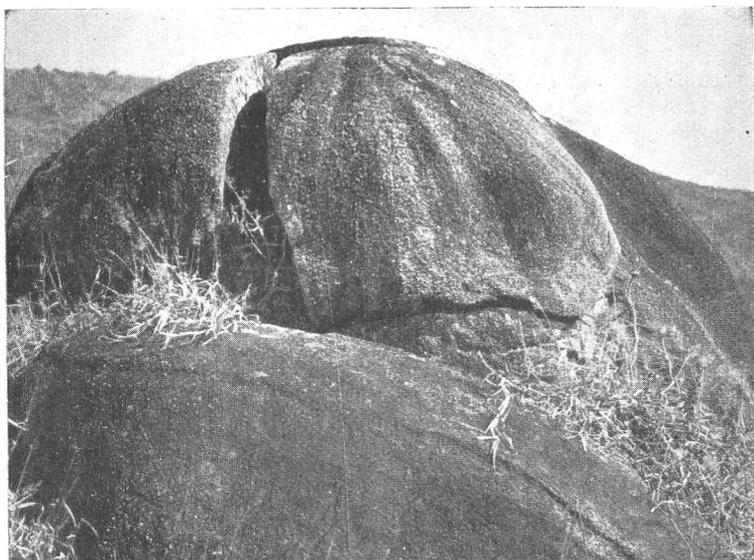


Fig. 18 — B'oco de granito (Boulder), mostrando fendas e casca. São Paulo.



Fig. 19 — Alteração esferoidal do granito de Pirituba. (Original de L. F. Moraes Rego (80), gentilmente cedido pelo Instituto de Pesquisas Technológicas de São Paulo).

“Já nos estados sulinos da América do Norte nota-se uma decomposição do solo que atinge camadas profundas. Ao passo que é difícil encontrar, no norte, um solo com alguns pés de profundidade, não é raro existir no sul, na Carolina do Norte, em Alabama, em cortes de estrada de ferro, em poços, etc., rochas em decomposição (granito, gneiss, feldspato, hornblenda, micachistos, etc.), numa profundidade de 10, 15 e mesmo 20 metros. Nesta região, as águas meteóricas, quentes e abundantes, carregadas de ácido carbônico, circulam livremente no solo, durante o ano todo, ao passo que no norte decresce a sua quantidade, o seu teor em ácido carbônico e a sua temperatura; por outro lado, o gelo protege a terra durante o inverno. Essas rochas, profundamente decompostas, depois são erodidas facilmente, sendo acumuladas em certos lugares; seus componentes que mais dificilmente são atacados podem ser acumulados em maior quantidade em certas jazidas. Assim se poderia explicar porque se encontram jazidas de pedras preciosas quasi só em climas quentes, fato para o qual Nordenskjöld chamou a atenção, por ocasião de sua visita a minas de pedras preciosas no Ceylão (*Hann, l.c., Vol. I, pag. 20*).

A explicação para uma decomposição tão profunda está ligada a varios fatores, cuja interpretação pela Pedologia moderna transparece bem nas linhas seguintes do trabalho fundamental de *Harrassowitz* (38):

“Os trópicos são as regiões da terra que se distinguem pela maior intensidade com que os fatores externos exercem sua influencia sobre a terra. Aqui reinam as temperaturas mais elevadas, frequentemente em uniformidade perfeita e com poucas variações estacionais. As quantidades das precipitações ultrapassam extraordinariamente as das regiões temperadas, de maneira que não só as quantidades totais alcançam um valor elevado, como também as que caem num intervalo de tempo determinado. Logo, numa parte dos trópicos, a atmosfera é muito húmida. Em regiões relativamente pobres em vegetação a irradiação solar atinge valores elevados, de modo que as temperaturas não só do ar mas também do solo são extraordinariamente altas. A dissociação eletrolítica da água é muito maior do que em outras regiões climatéricas, sendo por isso a sua influencia mais intensiva. Substancias orgânicas, como humus cru, só se podem acumular em certas regiões; senão decompõem-se rapidamente; a não ser em solos de brejos e de certas regiões florestais, os produtos de decomposição de materias orgânicas não poderão desempenhar um papel de destaque.

Em consequencia de todas essas propriedades, a decomposição química atinge o seu valor mais alto nos trópicos. Isto se vê no fato de que a dependencia dos solos de decomposição para com a rocha matriz pode ser completamente obscurecida. As causas desse fenômeno repousam na ampla alteração que sofrem, na

sua estrutura, os minerais frescos. De um lado, processa-se um desdobramento perfeito das moléculas, separando-se completamente o ácido silícico e o alumínio, o que conduz á formação do laterito. De outro lado, todos os minerais, de qualquer modo solúveis, são perfeitamente destruídos, originando-se solos que, embora ricos em geles, se constroem uniformemente de quartzo e se distinguem por pobreza em substancias nutritivas. Unicamente a enorme exuberancia da vegetação, devida ao humedecimento permanente, permite, apesar disso, a existencia de solos férteis. As raízes das árvores podem penetrar até profundidades maiores, de onde retiram substancias nutritivas. A produção rápida de substancias vegetais e a sua decomposição célere depois de restituídas ao solo põem sempre novas substancias, especialmente nitroênio, á disposição da superficie. (l.c., pag. 362). Se este trecho esclarece bem a grande intensidade dos processos de decomposição em nosso clima, é preciso salientar que não só a velocidade desses processos entra em jogo, mas também a qualidade dos produtos é alterada, como veremos a seguir.

Muitos autores atribuem ás grandes diferenças de temperatura um papel preponderante. Esta explicação sem dúvida não é satisfatória: as variações diárias, mensais e anuais da temperatura do ar fazem-se sentir sómente até pequena profundidade do solo, cuja temperatura além de poucos metros em climas tropicais — é constante. A decomposição mais importante, a da rocha viva, processa-se, entretanto, como acabamos de ver, em profundidade maior.

No entanto, também as rochas da superficie são atacadas mais intensamente nas nossas zonas, não só por agentes físicos, como também por ações químicas. Os inúmeros sulcos paralelos que deram o seu nome ás Agulhas Negras do Itatiaia e que podem ser observados frequentemente em rochas cristalinas brasileiras, são um indicio desses fenômenos. São marcas de erosão, comparaveis ás conhecidas nos calcareos e dolomitos, por exemplo nos Alpes. Lá, porem, é o ácido carbônico

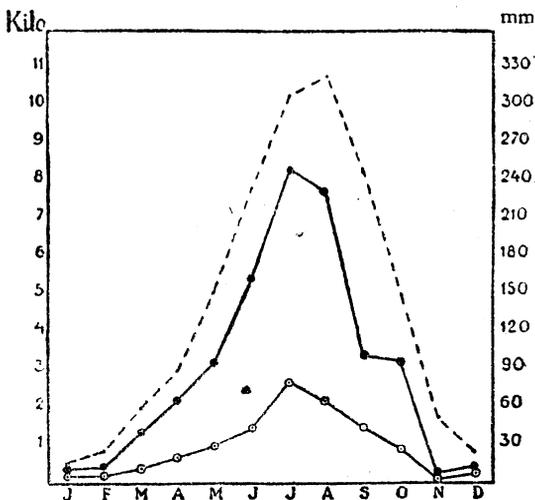


Fig. 20 — Quantidades mensais de HNO₃ e NH₃ aduzidas pelas chuvas tropicais, na Índia, seg. Capus, apud Vageler (123).

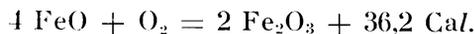
dissolvido nagua que ataca os carbonatos. A ação do ácido carbônico sobre rochas cristalinas é insignificante. Por isso, nos climas frios, falta canelamento em rochas cristalinas. E' difícil explicar porque no Brasil rochas cristalinas, como os foiaitos do Itatiaia, se apresentam tão sulcadas. A temperatura nessas alturas não é tão diferente da observada em montanhas de climas temperados. Talvez possamos pensar num fato, citado por *Vageler* (123) e que distingue as regiões tropicais: nos trópicos, as águas de precipitação são relativamente ricas em ácido nítrico, devido ás descargas elétricas. Ao passo que nos climas temperados se conta com 1 ou poucos kgs. de HNO_3 que alcançariam deste modo o solo por ano e por hectare, nos trópicos devemos supor uma quantidade de 30 a 35 kgs., cuja distribuição anual é indicada pelo gráfico (fig. 20). Tais observações são velhas; já foram reunidas por *Branner* (11) numa tabela, que — dada a importância do fenômeno — reproduzimos aqui (Tab. 17).

TABELA 17

Ácido nítrico (HNO_3) contido na chuva, seg. varios autores, em Branner (11, pag. 307)

Estação	HNO_3 (em miligramas) por litro de agua de chuva
Caracas, Venezuela	2.23 (media)
Saint Denis, Ilha Bourbon..	2.67 (media)
Souraboïs, Java	2.3 — 2.87
Lincoln, Nova Zelandia	0.578
Tok'ô, Japão	0.327
Pic du Midi, Pyreneus	traços apenas
Rothamsted, Inglaterra	0.670 (media de 1 ano)
Manhattan, Kansas	0.702 (media de 3 anos)
Lebfrauentberg, Alsacia	0.180

Nitratos são oxidantes fortes. O ferro bivalente que existe em certa quantidade nas rochas cristalinas não decompostas (vide tabela 16, pag. 54) é atacado conforme a equação seguinte:



Tal oxidação deve afrouxar consideravelmente os agregados cristalinos, quer se trate de intemperismo superficial ou de profundidade.

Os sulcos afamados do Itatiaia são excelentemente ilustrados na obra de *Mauil* (70). A erosão não pode ser causada pelo

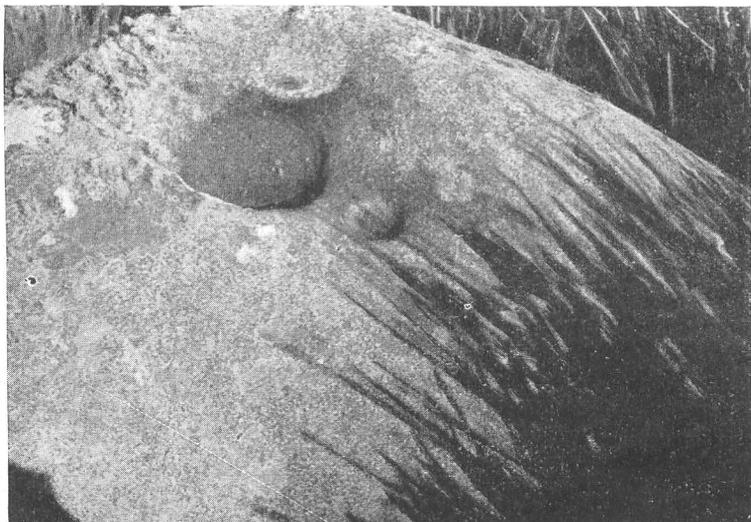


Fig. 21 — Bacias formadas na superfície do foiaito, onde a água da chuva se acumua (Itatiaia).

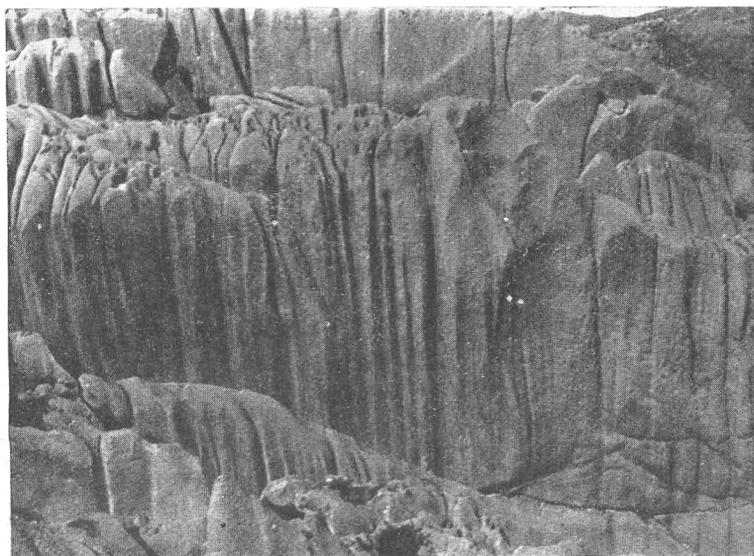


Fig. 22 — Bacias e sulcos formados pela água de chuva no foiaito do Itatiaia. Fotografia gentilmente cedida pelo Snr. J. Dias da Silveira.

dinamismo mecânico de água corrente. A fig. 21 mostra bacias onde a água estagnada inicia tais efeitos corrosivos, cuja continuação se vê na fig. 22. Formações iguais podem ser observadas também em granitos das praias ao nível do mar.

A decomposição física ou química conduz finalmente á formação de fragmentos de tamanho diferente. Onde o vento ou a correnteza das águas podem agir livremente, aí separam as partículas como no deserto, onde o vento limpa as rochas em decomposição, amontoando as areias do lado de sotavento. As partículas mais finas, em forma de poeira, podem ser levadas para mais longe, onde se depositam em forma de loess.

Separação análoga se processa na água doce e no mar. Nas praias marítimas, em lugares fortemente batidos pela ressaca, nada resta senão cascalhos grossos; o movimento regular deixa as areias mais finas. As menores partículas mantêm-se em suspensão e são depositadas no fundo do mar ou nas enseadas mais protegidas, onde formam o solo limoso dos manguesais.

Sem a ação seletiva do vento ou da água, todas as partículas da terra em formação ficam no seu lugar, compondo-se, conforme as condições, de combinações variadíssimas de fragmentos maiores e menores.

O tamanho das partículas que constroem um solo é da maior importância para todas as suas qualidades. A classificação geralmente mais adotada é a escala de Atterberg.

TABELA 18

Escala de Atterberg

Denominação	Diâmetro das partículas
Cascalho	> 2 mm
Areia grossa	2 — 0,2 mm
Areia fina (ou limo grosso) .	0,2 — 0,02 mm
Limo (fino)	0,02 — 0,002 mm
Argila	< 0,002 mm

Os solos geralmente contêm todas as frações, mas em proporções diferentes. A Pedologia emprega para apresentação gráficos triangulares como o da fig. 23 (pag. 63).

Abstraidos os cascalhos, temos três categorias, sendo a areia fina incluída entre o limo. Solos que só contivessem argila e areia caberiam do lado esquerdo do triângulo; os só de argila e de limo, do direito, mas a maioria dos solos têm areia, argila e limo misturados, encontrando assim o seu lugar em pontos correspondentes, no interior da figura.

As qualidades dos solos dependem grandemente da superfície das partículas, que são as superfícies-limite para a adsorção da água e de soluções. Uma grama de areia média possui um total de superfícies não inferior a 4 m². Misturando-se limo com areia, ou entrando humus, aumenta a superfície, cujos valores máximos são atingidos por argila pura. Em proporção direta com a superfície cresce a higroscopicidade, quer dizer a porcentagem de água que é retida por adsorção às superfícies mencionadas. Nos casos da tabela 19 vê-se que 4 metros de superfície ligam cerca de 1 % de água higroscópica.

TABELA 19

Superfície (1 g em m²) e higroscopicidade (Seg. Mitscherlich, cit. por Wiessmann, 135)

Solo	Superfície 1 gr. em m ²	Água higroscópica em % do peso da terra seca
Areia	4,24	1,06
Areia limosa	5,60	1,40
Limo arenoso ..	8,36	2,09
Areia rica em hu- mus	16,80	4,20
Turfa	73,68	18,42
Argila	95,24	23,81

B) — A NEOFORMAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS

a) — ARGILAS

Os fragmentos que compõem as argilas são do tamanho de partículas coloidais, adotando todas as peculiaridades destas.

Compõem-se dos fragmentos mais finos, deixados pela trituração das rochas, mas além disso há formação de substâncias novas, as argilas secundárias. Como a composição e a estrutura das argilas é de cabal importância para os solos e para o abastecimento das plantas, damos um apanhado dos processos essenciais de sua formação. A matéria prima são as rochas primárias. Po-

demos considerar como constituintes essenciais, que constroem o esqueleto das rochas eruptivas, os da fabela seguinte:

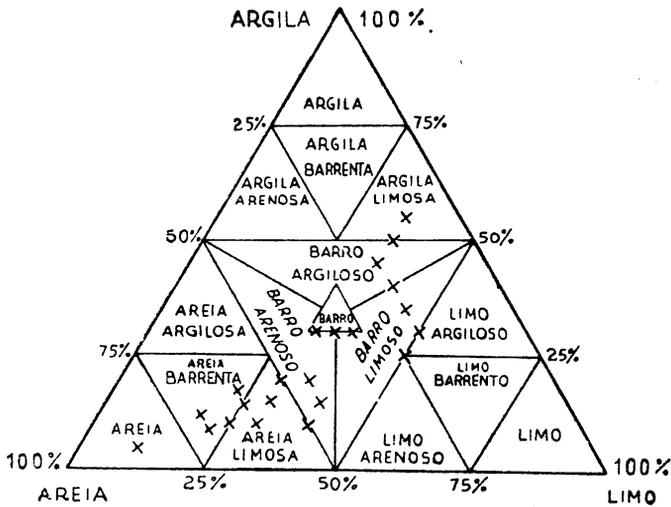


Fig. 23 — Esquema de classificação de solos de acordo com a análise mecânica. Os 22 pontos marcados indicam solos do Estado de São Paulo (Seg. graficos de Setzer, 105).

TABELA 20

Proporções médias das substancias do "esqueleto" das rochas eruptivas, em % do peso, seg. Clarke e Washington, citados por Goldschmidt (35, pag. 887)

Anidrido silicoso	SiO ₂	59,12
Sesquioxidos 1)	Al ₂ O ₃	15,34
	Fe ₂ O ₃ + FeO ...	6,88
Bases	CaO	5,08
	MgO	3,49
	Na ₂ O	3,84
	K ₂ O	3,13

1) Sesqui, do latim; sesque (abrev. de semisque) = 1 ½. A relação entre Oxigênio e os metais = 3 : 2.

aos quais se acrescentam:

H ₂ O	.....	1,15
TiO ₂	.....	1,05
P ₂ O ₅	.....	0,30

Al₂O₃ e Fe₂O₃ comportam-se como bases fracas, podendo formar sais com o ácido silícico; associadas a elas ocorrem geralmente as quatro bases mais fortes indicadas, cujas ligações com o silício e cujas varias combinações entre si dão origem á quantidade conhecida dos minerais.

Na decomposição, são primeiro as bases mais fortes que se dissolvem, dependendo as qualidades nutritivas dos solos especialmente do teor destas bases muito solúveis e muito ativas.

Para compreender a transformação dos minerais em argilas é preciso conhecer os processos de hidratação que se dão na superfície dos retículos cristalinos dos minerais. Na maioria são

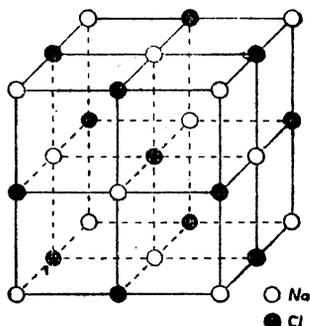


Fig. 24 — Reticulo cristalino do sal de cosinha.

insolúveis na água, pelo menos no sentido comum da palavra. A água ataca, porém, as superfícies-limite dos fragmentos cristalinos.

Para entendermos esse processo convém lembrarmos da estrutura cristalina de um sal, apresentada na fig. 24, que mostra a disposição regular dos átomos de Na e Cl nos planos do cristal de NaCl. Os elementos existem aí em forma de íons com suas cargas elétricas que os mantêm em seus lugares. A fig. 25 apresenta um só plano cristalino de um fragmento de silicato. Os

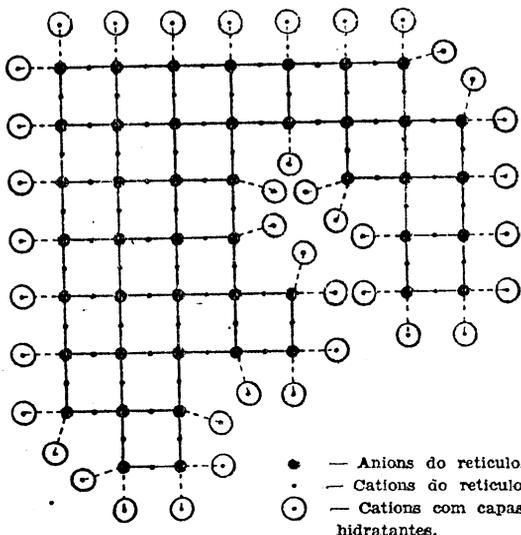


Fig. 25 — Fragmento de reticulo de um silicato em decomposição, esquematizado. Seg. Laatsch (54).

anions e os cations formam um reticulo regular. Das linhas de força que ligam os cations aos anions são apresentadas só quatro, sendo suprimidas as linhas da terceira dimensão. Nas superfícies-limite e especialmente nos cantos e nas pontas dos fragmentos falta uma parte dessas linhas do reticulo: existem ai cations frouxamente ligados ao reticulo por poucas ou uma só linha de força. As cargas elétricas destes cations, não perfeitamente neutralizadas pelas forças de atração que partem do reticulo, podem se voltar para a agua ambiente.

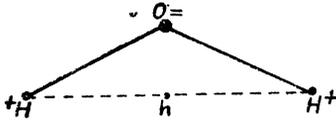


Fig. 26 — Modelo de uma molécula de água, seg. Heymann, apud Laatsch, 54
H — ponto de gravidade das cargas positivas.

As moléculas d'agua, por seu lado, também são portadoras de forças elétricas, mesmo quando não dissociadas em ions. A molécula de H₂O é assimétrica, sendo figurada hoje em dia em forma de um "dipol" (fig. 26), onde o atomo de O e os dois atomos de H formam um triângulo. O ponto de gravidade dos dois H⁺ não coincide com o lugar onde supomos o O⁻: a molécula é polarizada e num campo elétrico toma uma orientação determinada. Em redor de um cation as moléculas d'agua vão adotar a disposição da fig. 27, formando uma capa d'agua em redor do cation agora hidratado. Estes são os cations indicados nas margens da fig. 25.

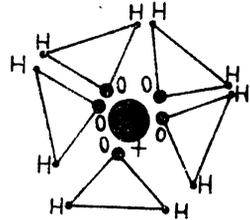


Fig. 27 — Cation hidratado, seg. Laatsch (54).

1) — Troca de ions

O enfraquecimento da ligação dos ions na superfície dos fragmentos de terra dá inicio ao processo da troca dos ions que podem ser substituidos por outros. A maneira como se processa essa troca explica-se pelas leis que regem a dissociação das substancias em agua.

Ácidos e Bases — Significando a letra R o resto de um ácido, este, quando monovalente, escreve-se HR e dissocia-se segundo o esquema $HR \rightleftharpoons H^+ + R^-$. A dissociação cessa quando atinge o equilibrio; este, segundo a lei da ação das massas (*Guldberg e Waage*) se estabelece, quando o produto dos ions em relação á quantidade das moleculas não dissociadas adota o valor constante k.

$$\frac{(H^+) \cdot (R^-)}{HR} = k$$

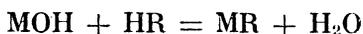
k é específico para cada substancia em dissociação, variando com a temperatura.

A mesma equação para as bases com o radical M escreve-se $\text{MOH} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{M}^+$, sendo a fórmula do equilíbrio:

$$\frac{(\text{M}^+) \cdot (\text{OH}^-)}{\text{MOH}} = k$$

A força de ácidos e bases depende da grandeza k . Quanto maior a dissociação, maior a atividade do ácido ou da base. Esta atividade depende só da quantidade de ions H^+ ou OH^- .

Sais — Os sais formados pela união de um ácido com uma base, segundo o esquema:



de acordo com os nossos conhecimentos modernos, dissociam-se completamente em solução aquosa, segundo a fórmula:



Desta maneira, numa solução aquosa de um sal sempre haverá radicais M^+ e R^- . A agua também é dissociada, embora em pequena parte, em H^+ e OH^- . Na solução de um sal haverá portanto a reação seguinte:



Os dois componentes HR e MOH se dissociam por sua vez, segundo as leis que regem a dissociação das bases e dos ácidos respectivos. Sendo a base fraca e o ácido forte, o ácido será muito dissociado e a base pouco: a solução aquosa de um sal, composto de ácido forte e base fraca tem assim reação ácida por prevalencia dos ions H^+ . Ao contrario, um sal de base forte e ácido fraco, em solução aquosa, mostra reação básica.

A dissociação da agua ($\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{H}^+$) — já foi mencionada. Também para ela vale a equação:

$$\frac{(\text{H}^+) \cdot (\text{OH}^-)}{\text{H}_2\text{O}} = k$$

O valor de k é extremamente pequeno, sendo igual a 10^{-14} . Como a quantidade de ions H é igual á dos ions OH , a concentração de cada um é de 10^{-7} . Segundo a denominação de *Soerensen*, usa-se para exprimir as concentrações dos ions H ou OH só

o expoente negativo. O expoente negativo para os ions H escreve-se pH. Agua pura tem pH = 7.

Para concretisar o significado dos valores pH, partimos de uma solução normal de um ácido monovalente, como o HCl, solução essa que contem por litro tantas gramas de ácido quantas equivalem ao seu peso molecular (isto é Cl = 35,5 e H = 1, portanto o total é 36,5). HCl é um ácido muito forte e se fosse dissociado perfeitamente na solução normal, teriamos uma grama de ions H^+ por litro. (Na verdade, esta concentração permite só a dissociação de 0,8 g).

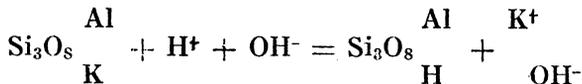
Uma solução que contem por litro 1/10 g de ions H^+ pode ser escrita como contendo 10^{-1} g, isto é, terá o pH = 1. Os pH de 0 até 10 significam, assim, os teores seguintes em gramas de ions H^+ por litro:

1 g	10^0	pH 0
0,1 g	10^{-1}	1
0,01 g	10^{-2}	2
0,001 g	10^{-3}	3
0,0001 g	10^{-4}	4
0,00001 g	10^{-5}	5
0,000001 g	10^{-6}	6
0,0000001 g	10^{-7}	7
0,00000001 g	10^{-8}	8
0,000000001 g	10^{-9}	9
0,0000000001 g	10^{-10}	10

Um pH 7 é a reação de agua pura e que não contem H_2CO_3 , logo neutra. Os valores menores do que 7 indicam acidez, os maiores alcalinidade, porque um teor menor em H^+ corresponde, segundo a equação de dissociação no equilibrio, a um aumento equivalente em ions OH^- .

Dissociação de sais ou cristais insolúveis, nas superficies-limite.

— O processo de hidratação figurado no esquema apresentado na fig. 27 (pag. 65) pode conduzir á dissociação dos cations (ou anions) fracamente ligados á superficie. Partindo por exemplo de um retículo cristalino de feldspato potássico ($Si_3O_8 K Al$) teremos o processo seguinte:



O ion de K nas superficies-limite será mais facilmente hidratado e desligado sendo de base mais forte do que Al. Em seu lugar entra um ion H^+ . A equação dada acima não é a de uma reação química entre as moléculas dos reagentes, mas uma reação de adsorção que só se processa nas superficies dos reticulos. A reação porem é tão forte que a difusão dos ions K^+ pode ser registrada por uma reação alcalina que ocorre na solução. (Tamm, citado por Laatsch, 54), mediu pH de 10,76 em agua pura á qual foi acrescentado feldspato potássico em partículas muito finas).

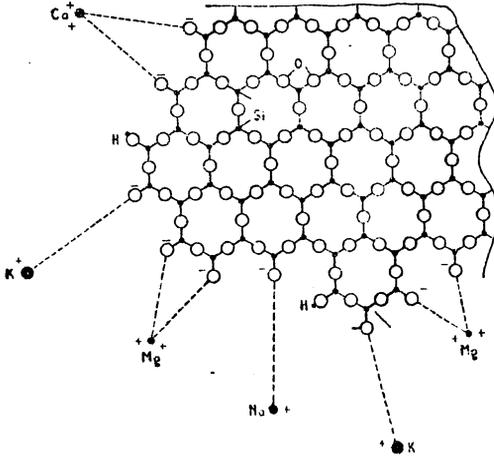


Fig. 28 — Representação esquemática da ligação dos cations trocaveis nas arestas de uma face Si — O de um cristal de mineral de argila, seg. Endell (29).

Endell (16) sobre o comportamento de um fragmento de argila. Vêm-se adsorvidos diversos cations com o Ca^{++} , K^+ , Mg^{++} e Na^+ , que podem ser substituidos um a um ou por H^+ .

Não só os ions H^+ podem substituir os cations iniciais dos minerais; todos os outros cations contidos na solução podem desempenhar o mesmo papel.

Isso se vê na representação esquemática de

2 — Argilas secundarias

Num solo muito irrigado as bases mais fortes são as primeiras a serem lavadas, restando de um feldspato, por exemplo, só o aluminio e o ácido silicico. A maioria dos outros minerais, na sua decomposição, fornecerão os mesmos produtos finais; onde ha ferro, este se acrescenta em forma de óxido ou de hidróxido. Estas substancias, a principio, são coloidais. Mas, como evidenciam pesquisas recentes com raios X, tomam novamente estrutura cristalina. Entre estes minerais novos são de importancia especialmente os do tipo da Montmorillonita ($H_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4 SiO_2$) e os da Caolinita ($2 H_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2$).

Em ambos os casos, nos cristais, os átomos são dispostos em planos ou camadas paralelas, que se superpõem. Na caolinita os espaços entre os planos são rígidos e pequenos. A Montmorillonita, ao contrario, tem as distancias, entre as camadas dos cris-

tais, maiores e variáveis, intumescendo com o aumento de humidade. Disso resulta a maior facilidade de troca de ions para a Montmorillonita; é possível porem, que nisso interfira também a estrutura íntima destes cristais, como indica *Jenny* (50). As condições tropicais e subtropicais devem favorecer a formação da caolinita; são argilas deste tipo que constituem, segundo *Camargo e Vageler* (18) os minerais essenciais destas regiões. Em climas temperados prevalecem as argilas do tipo da Montmorillonita. Argilas do primeiro tipo têm um poder de retenção de ions muito fraco e podem tornar-se muito mais inferteis do que as do segundo.

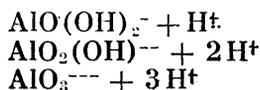
Argilas secundarias dos tipos descritos geralmente só se formam quando os solos têm uma reação neutra ou fracamente ácida. Solos alcalinos, especialmente os ricos em carbonatos de calcio, não atacam os silicatos primarios ou o fazem muito lentamente. Em geral as argilas faltam ou escasseiam em regiões calcareas.

3 — *Eletrolitos anfóteros e o ponto isoelétrico*

O decurso da decomposição e da transformação dos solos depende muito das cargas elétricas das partículas. Nos casos citados na pag. 67 trata-se de afastamento de cations, ficando as superficies das partículas com carga negativa. Cargas negativas das partículas do solo constituem o caso mais frequente, dando-se entretanto também o contrario, isto é desprendimento de anions e carga positiva das partículas de argila. A carga de uma partícula depende das condições do ambiente, especialmente do pH.

Tomemos, por exemplo, uma molécula de $\text{Al}(\text{OH})_3$, base muito fraca, como vimos, logo muito pouco dissociada. Numa solução ácida, os muitos ions H^+ aí existentes exercem sua atividade no sentido de captar os poucos hidroxilions que foram dissociados do $\text{Al}(\text{OH})_3$. Segue-se nova dissociação das moléculas $\text{Al}(\text{OH})_3$ e finalmente encontramos na solução, além das moléculas $\text{Al}(\text{OH})_3$, também outras dissociadas $[\text{Al}(\text{OH})_2]^+ + \text{OH}^-$, $(\text{AlOH})^{++} + 2 \text{OH}^-$ e $\text{Al}^{+++} + 3 \text{OH}^-$. O aluminio tem carga positiva.

Se, ao contrario, colocarmos os $\text{Al}(\text{OH})_3$ numa solução alcalina, rica em ions OH^- , os OH do $\text{Al}(\text{OH})_3$ apresentam um comportamento diferente: dissociam-se agora, separando-se o ion H^+ , ficando o O com carga negativa preso ao Al. Formam-se então:



A molécula que contem o aluminio tem carga negativa.

No primeiro caso deparamos com a base fraca $\text{Al}(\text{OH})_3$. Agora temos o radical de um ácido H_3AlO_3 . Se o hidróxido de alumínio toma caráter básico ou ácido, isso depende só do pH. Deverá existir um certo grau de acidez em que as duas tendências de dissociação ácida ou básica se equilibrem. Neste pH a dissociação será muito fraca, despreendendo-se poucos H^+ e, ao mesmo tempo, poucos OH^- na mesma solução.

O $\text{Al}(\text{OH})_3$ geralmente existe em dispersão coloidal nas soluções, quer dizer, trata-se de muitas partículas $\text{Al}(\text{OH})_3$ unidas. Na superfície de uma dessas partículas coloidais encontramos cations H^+ dissociados quando em solução básica, anions OH^- dissociados quando em solução ácida (Fig. 29).

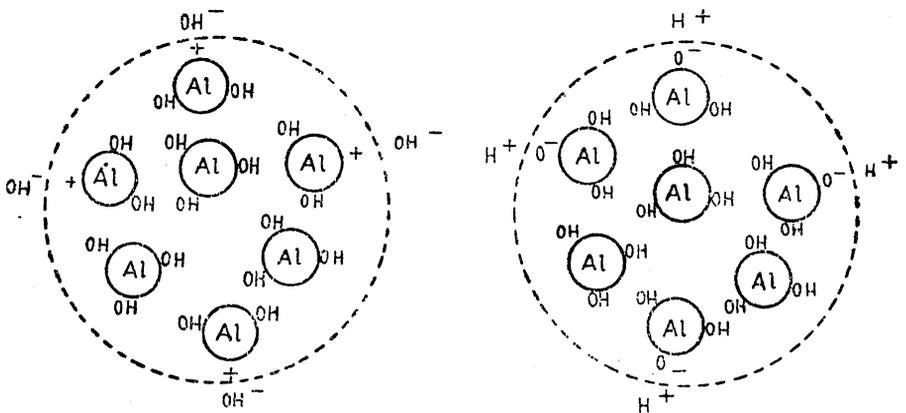


Fig. 29 — Partículas coloidais de $\text{Al}(\text{OH})_3$, à esquerda em meio ácido e à direita em meio alcalino, muito esquematizado.

O estado intermediário em que a dissociação é fraca e se processa em ambos os sentidos chama-se o ponto isoeletrico. Neste estado teremos na mesma partícula, dissociados, alguns ions OH^- e outros tantos ions H^+ . As cargas na superfície da partícula serão em parte positivas, em parte negativas. Neste estado, a suspensão coloidal é instável; as partículas coloidais não têm cargas iguais que se repelem mutuamente. Neste caso aglomeram-se as partículas, formando flocos e precipitados. Nos casos apresentados na fig. 29, a suspensão mantém-se estável, porque todas as partículas têm a mesma carga. ¹⁾

Para demonstração, podemos preparar uma suspensão fina de $\text{Al}(\text{OH})_3$. Partimos de uma solução aquosa de AlCl_3 , acrescentando

¹⁾ Na realidade os fenômenos são mais complicados do que podem ser apresentados neste apanhado esquemático. O leitor encontra ampla discussão na obra citada de Mattson, especialmente 1930, 30, pag. 459.

tando NaOH ($\text{AlCl}_3 + 3 \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 + 3 \text{NaCl}$). Juntando cautelosamente gotas de NaOH , podemos observar coagulação e floculação do $\text{Al}(\text{OH})_3$ coloidal, floculação essa que atinge o seu máximo num $\text{pH} = 8,1$. Este é o ponto isoeletrico para $\text{Al}(\text{OH})_3$. Aumentando ainda a concentração dos OH observamos diminuição da coagulação. Finalmente, ha dissolução perfeita e formação de aluminato de sodio Na_3AlO_3 :



Acrescentando agora paulatinamente um ácido como HCl podemos ver o processo retroceder:



Corpos que podem adotar cargas positivas e negativas chamam-se eletrólitos anfóteros ou anfólitos. Encontram-se também nas albuminas do protoplasma; a possibilidade de adsorver e de desprender cations e anions permite em todos os casos uma rica variabilidade de reações.

Pelo comportamento do $\text{Al}(\text{OH})_3$ que acabamos de descrever, compreendemos que os coloides formados pela destruição dos silicatos podem manter-se em suspensão coloidal em ambiente mais ácido ou mais básico do que o que corresponde ao ponto isoeletrico das combinações respectivas. Em tal estado podem ser lavados pela agua que passa pelos solos. Se a solução do solo porrem ficar próxima do ponto isoeletrico, os coloides coagulados permanecem em forma de gel, mais estaveis no solo.

Geralmente, nas partículas de argila trata-se de substancias mais compostas do que $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Já sabemos que estes, em soluções fracamente ácidas, reagem como bases, ligando-se, então, com o ácido silícico. Os sais assim formados também são anfólitos e o seu comportamento se torna compreensível pelo esquema muito sumario mas ilustrativo que tiramos de *Laatsch* (54), onde as bases e os ácidos fracos figuram como acidoide e basoide (fig. 30).

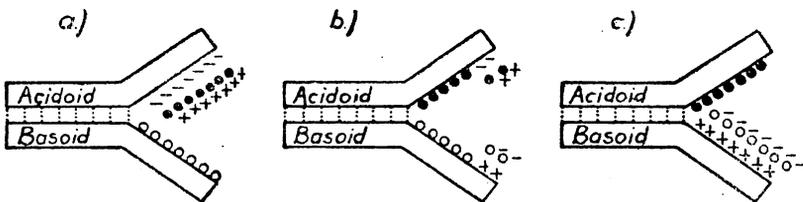


Fig. 30 — Esquema da dissociação de um coloide anfótero, em concentração crescente de ions H, seg. *Laatsch* (54).

À esquerda, numa solução alcalina vê-se dissociação e despreendimento só de cations: o mineral fica só com cargas negati-

vas da parte acidoide. No ponto isoelétrico (b) a dissociação é fraca, desta vez do mesmo grau em ambos os componentes. Tornando-se a solução mais ácida (c) desaparece a dissociação dos cations que agora ficam presos ao acidoide; o basoide, ao contrario, mostra forte dissociação e a carga da partícula é positiva. Todas estas partículas atingem sua maior estabilidade nos solos, quando a solução corresponde ao ponto isoelétrico das substancias em questão. Fora deste ponto, não só se mantêm mais facilmente em suspensão — podendo ser lavados — como tambem podem ser atacados mais facilmente por ions livres, especialmente ions H^+ e OH^- . Quando se trata de neoformação de substancias ha tendencia para a formação de compostos cujo ponto isoeletrico corresponda á solução.

b) — HUMUS

O modo de decomposição, transformação e neoformação dos solos é grandemente influenciado pelas substancias orgânicas em decomposição. Os restos que provêm direta ou indiretamente da vegetação podem decompor-se de maneiras diferentes que podem ser divididas em tres grupos:

a) — Decomposição perfeita, sem deixar residuos apreciaveis. Os microorganismos do solo decompõem toda a materia até os produtos finais de decomposição, que são H_2O , CO_2 e N ou NH_3 . Em temperatura elevada, na presença de humidade e oxigenio é este o tipo geral de decomposição observado na maioria dos solos de climas quentes. Existem sempre substancias em vias de combustão lenta, mas são poucas para dar um aspecto e um carater especial aos solos.

b) — Em climas mais frios e, em geral, em condições em que a decomposição será mais lenta, os produtos intermediarios da decomposição não desaparecem logo, acumulando-se até um certo grau e dando aos solos qualidades especiais, emprestando-lhes aspecto e qualidades peculiares. Neste caso, acumulam-se especialmente as partes do folhêdo mais resistentes á decomposição: são as membranas lignificadas. Dos corpos dos microbios que atacam as outras substancias vegetais, como o conteúdo das células e a celulose, ficam os restos, contendo especialmente albuminas. Segundo os conhecimentos modernos, devidos especialmente a *Waksman* (124), albuminas e ligninas parecem recompor-se, formando um grupo de ácidos, denominados “humínicos”. A natureza química destes corpos não pode ser bem definida hoje em dia. Parecem ser eletrolitos anfóteros, como os seus componentes, as ligninas e albuminas. Reagem geralmente como ácidos, formando sais, os “humatos”, que com bases fortes com K e Na são facilmente soluveis, ao passo que com Mg e Ca o são difi-

cilmente. Em solos com reação ácida, por isso não se podem manter; são lavados.

Os microbios de cuja presença depende sua formação são ativos só em reação próxima do ponto neutro, ou geralmente acima de $\text{pH} = 5$. Tal pH é, portanto, um requisito para a formação e a manutenção destas substâncias.

Os ácidos humínicos podem entrar em composição com silicatos, especialmente quando básicos. Embora existentes só em pequena porcentagem no solo, estes coloides, pela sua capacidade de conservar os cations importantes e de dar ao solo uma estrutura esmigalhadiça e porosa exercem uma influencia das mais favoráveis. A estas qualidades acrescentam-se mais outras, puramente químicas. A materia orgânica forma o substrato para a vida de bacterias uteis, especialmente as fixadoras de nitrogênio. O humus contem vitaminas estimuladoras do crescimento das raizes (vide *Went*, 132) e alem disso não deve ser desprezado o papel do CO_2 desprendido pela sua decomposição, CO_2 esse que facilita a fotossíntese das plantas, especialmente perto do chão.

Antes de tudo, os solos pretos do chamado "tchernosom" (palavra russa que significa solo preto) são do tipo descrito. Existem não só nos terrenos afamados da Russia meridional, especialmente da Ucrania, como são também conhecidos em todas as partes do mundo, infelizmente não com muita frequencia.

c) — Em condições desfavoráveis, como quando ha falta de agua ou de oxigenio, ou quando a solução do solo se torna ácida, ou em temperaturas baixas, a decomposição é perturbada e não prosegue até o fim. Acumula-se, então, o "humus cru" que conserva até a sua estrutura. O carvão de pedra foi formado na época carboniana, em condições que se opunham á decomposição perfeita. Provavelmente originou-se em brejos, em baixadas onde havia falta de O_2 , o que impediu a destruição, como a impede também hoje nos brejos mesmo no clima tropical.

A decomposição imperfeita, porem, é muito mais frequente em climas frios, onde muitas vezes, especialmente nas florestas, se acumula uma camada espessa de folhêdo. A decomposição de todos os detritos pode seguir o esquema resumido em b), sómente quando não faltam as bases para neutralisar os ácidos humínicos em formação. Na falta de tais bases, sempre ha o perigo da acidez que, como já foi mencionado, num pH inferior a 5, prejudica a atividade dos microbios. Neste caso formam-se, alem ou em vez dos ácidos humínicos, outros ácidos de molécula menor, mais fortes, os ácidos fúlvicos que entram mais facilmente em solução. Pelas chuvas são arrastados para as terras sotopostas ao humus cru ou á turfa da superficie. Estes ácidos decompõem as argilas e levam os cations. Finalmente, deixam uma areia despida de todos os elementos nutritivos, solo arenoso esse, cor de cinza, o que lhe valeu o nome russo, empregado internacionalmente —

Podsol. Finalmente, a solução ácida, já enfraquecida pelas bases que encontrou, penetra em regiões mais profundas, ainda não despidas dos seus cations. Encontra, então, um pH que corresponde ao ponto iso-elétrico das soluções coloidais que carrega. Estas precipitam-se aí, cimentando as particulas do solo para formar uma lage dura de pedra, chamada Ortstein ¹⁾ em alemão ou Hardpan em inglês.

Esta camada que frequentemente se encontra a pouca profundidade pode ser mais prejudicial do que o proprio podsol. As raízes das plantas muitas vezes não podem atravessá-la e, em solos deteriorados pela podsolisação, não só o reflorestamento é dificultado, como também quasi todas as culturas. Muitas vezes, trata-se de formações secundarias. Derrubadas repetidas e impiedosas das florestas, em vastas zonas da Europa boreal criaram regiões onde hoje em dia só cresce a vegetação das varzeas de urzes (*Calluna*, *Erica*, etc.).

A existencia de florestas, especialmente quando entremeadas com árvores de folhas caducas e delicadas, opõe-se á podsolisação: as raízes das árvores, em contacto com os horizontes não decompostos de terra tiram daí os cations que no outono, com as folhas, caem para a superficie, contribuindo anualmente com uma dose de cations ou de bases neutralisadoras.

A derrubada acaba com esta influencia benéfica. Sol e vento secam e solidificam a superficie antes fofa do solo. A ventilação da terra subjacente sofre, efeito esse que pode ser aumentado por excessos de humidade que antes eram transpirados pela floresta (vide pag. 121). Os animais, como minhocas, tatusinhos, larvas de insetos, roedores e outros, que trabalham, misturam e adubam o solo, somem-se, dificultando-se também a vida dos microbios. A ação lavadora das chuvas não é mais contrabalançada, a podsolisação começa. Em condições mais secas, a floresta é substituída por associações de urzes, varzeas do tipo do Callunetum ou Ericetum; em condições húmidas, as turfeiras altas do Sphagnetum dominam. O processo da deterioração parece irreversível.

Métodos modernos de cultura tentam devolver a fertilidade a tais terrenos. Os meios empregados são drenagem para tirar o excesso das aguas estagnadas, aragem muito profunda que quebra o "Ortstein" e neutralisação dos solos por meio de cal.

Entre solos do tipo Podsol e do tipo Tschernosom ha todas as transições, cujo estudo forma o assunto mais importante da Pedologia, nos climas frios e temperados.

1) Ort = lugar e Stein = pedra; provavelmente porque a pedra é formada no lugar.

C) — AS RAIZES E OS MICROBIOS COMO CONSTITUINTES DO SOLO

Constituintes importantes dos solos são os seres vivos: a vegetação superior cujas raízes ocupam grande extensão do solo e também os micróbios cujo metabolismo pode ter influencia sobre o mesmo.

A fig. 31 mostra a densidade das raízes de um pé de milho de 2 mezes. A grande extensão das raízes é eloquentemente ilustrada pelos algarismos muito citados de *Pavlychenko* (89).

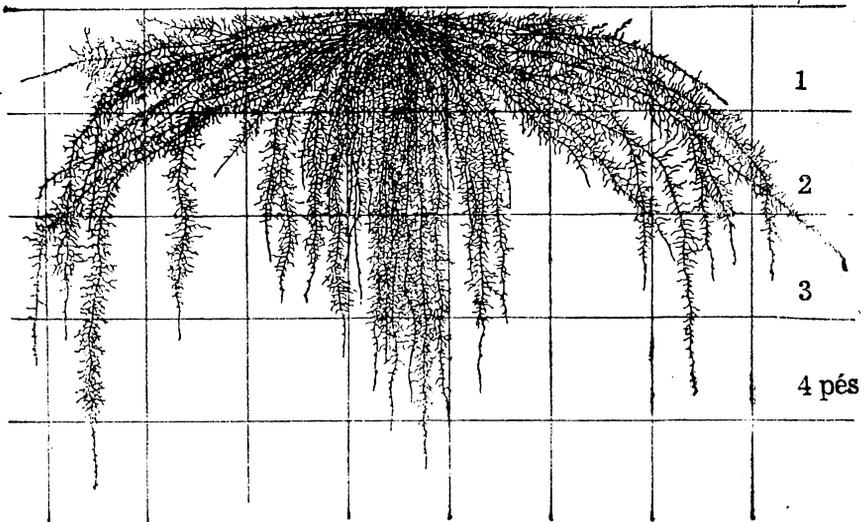


Fig. 31 — Sistema radicular de uma planta de milho de 2 mezes, seg. **Weaver and Clements** (130) com gentil autorização da casa editora McGrawHill Book Company, Inc.

TABELA 21

Comprimento total das raízes de uma só planta
seg. *Pavlychenko* (89)

	Aveia (<i>Avena sativa</i>)	Trigo (<i>Triticum sativum</i>)	Centeio (<i>Secale cereale</i>)
Profundidade ...	1,6	1,6	1,57
Compr. total	88 Km	71 Km	97.5 Km

Estes valores extraordinarios ¹⁾ foram determinados para plantas isoladas, cujos sistemas radiculares ou "rizosferas" foram tirados com a terra e cautelosamente lavados. A possibilidade de valores tão altos para uma só planta se depreende de determinações como as apresentadas para o trigo (Tab. 21). Plantas semeadas mais apertadamente, em fileiras regulares, acusam profundidade de raízes de 25 % a menos e um comprimento total muito menor, apenas de cerca de 1 Km. O significado de tais valores para toda a Ecologia não pode ser superestimado. A rizosfera forma um dos constituintes mais importantes do solo, in-

TABELA 22

*Trigo: comprimento total das raízes de uma planta.
Distancia das plantas: 3 m; profundidade máxima das raízes: 1.60 m
(seg. Pavlychenko, 89)*

Raízes formadas durante a Germinação			Raízes adventícias (crown roots) formadas no "colo" da raiz principal		
Ordem da raiz	Número de raízes	Compr. total (m)	Ordem da raiz	Número de raízes	Compr. total (m)
Raízes primárias	5	7,62	Raízes primárias	73	41,20
Raízes secundárias 1.a ordem	4.208	962	Raízes secundárias 1.a ordem	17.800	4.980
Raízes secundárias 2.a ordem	223.000	7.920	Raízes secundárias 2.a ordem	173.800	57.200
Total		8.889,62	Total		62.221,20

fluenciando muito todo o comportamento físico e químico deste. Por isso, amostras do solo sem a rizosfera, estudadas nos laboratórios dos pedólogos podem nos fornecer informações errôneas

1) Tais valores parecem menos fantásticos, se considerarmos que o homem possui no seu corpo vasos capilares cujo comprimento total é avaliado em 100.000 Km.

sobre certas questões essenciais, como por exemplo a permeabilidade á agua.

De outro lado com as determinações de *Pavlychenko*, adquirimos um ensinamento muito eloquente sobre a competição e concorrência das raízes no solo, luta essa de grandes consequências. Uma planta sem competição desenvolve raízes de quasi 100 Km de comprimento. Dentro das fileiras, sujeita á competição, o comprimento total atinge aproximadamente 1 Km, ou cerca de 1 %.

Os autores de climas temperados contam com uma profundidade máxima da rizosfera, para plantas cultivadas, de 1,5 até 2 m. Devemos, porem, salientar que no Brasil a maior profundidade dos solos favorece o desenvolvimento de raízes mais profundas e que o valor de 1,60 m, nos nossos solos, é ultrapassado até por Gramineas. Raízes de cana de açúcar foram encontradas em profundidades até de mais de 5 m, e plantas lenhosas penetram frequentemente além de 10 m, nos solos brasileiros profundamente decompostos.

Todas essas superficies das rizosferas constituem um fator importante entre as superficies das partículas do solo empenhadas na troca de ions. Também as raízes têm as qualidades eletrolíticas indicadas para as partículas do solo: as superficies protoplásmicas são anfolitas, podendo adsorver e desprender cations e anions.

Desde muito tempo, especialmente segundo as observações de *Hansteen-Cranner* (37), sabe-se que raízes em agua pura desprendem ácido fosfórico. Mais conhecido, porem, é o desprendimento de ácido carbônico, devido á propria respiração das raízes. Esta atividade geralmente é demonstrada pela experiencia conhecida da placa de marmore: posta em contacto com raízes ativas, estas deixam aí suas impressões devido á corrosão do carbonato de calcio pelo ácido carbônico. Substancias insolúveis, porem, podem ser atacadas por troca de cations, sendo estes substituidos pelo ion H^+ , da mesma forma como foi indicado para o feldspato, na pag. 67.

A importancia deste último fator é evidente: as raízes aproveitam não só os sais dissolvidos na solução do solo, mas a fonte mais rendosa é constituída pelos ions trocaveis nas superficies das partículas do solo. Compreende-se assim o concrecimento íntimo dos pelos absorventes com as mesmas.

Os mesmos fatos são válidos para todos os organismos da microfauna e flora do solo, onde novamente o ion H^+ , desprendido em consequência da respiração, será um fator atacante forte, na substituição e troca dos cations. Além disso, a vida microbiana não se limita a produzir o ácido carbônico que é relativamente fraco. Na falta de oxigenio, a respiração intramolecular produz ácidos mais fortes, como o ácido acético, butírico, láctico

e outros. *Feher* (30) e colaboradores mostraram, na Hungria, que nas condições anaeróbicas do inverno, quando os solos estão inundados e obturados pela água, o pH pode alcançar valores de 4,5 ao passo que o pH dos mesmos solos, no verão, indica valores alem de 7.

Se os ions H^+ são importantes na substituição dos ions na superfície das partículas dos solos e se as superfícies das células vivas obedecem às mesmas leis que regem a troca dos cations no solo, torna-se evidente que os ions H^+ podem influenciar e prejudicar, por sua vez, a atividade das raízes. Já antes de ser compreendida, esta influencia foi constatada no comportamento interessante das plantas em relação ao calcio.

Plantas calcífilas e calcífugas — Especialmente em terrenos como os dos Alpes, onde rochas calcareas na superfície dos solos alternam muitas vezes com rochas cristalinas, evidenciou-se que a vegetação em ambos os tipos de terrenos varia grandemente. Ha plantas que só se encontram no calcareo, como o “*Edelweiss*” (*Leontopodium alpinum*) e muitas orquideas europeas. Muitas vezes, o mesmo género é representado por especies diferentes, ditas “vicariantes”, no calcareo e nas rochas cristalinas, como os conhecidos *Rhododendron*, entre os quais o *Rh. ferrugineum* “fo-ge” da cal, ao passo que o *Rh. hirsutum* a “procura”. Nem todas as plantas são calcífilas ou calcífugas: a maioria das especies é indiferente e não mostra preferencias tão marcadas.

No começo pensou-se que se tratasse de uma influencia do elemento calcio. Mostrou-se depois que plantas, que não toleram o carbonato de calcio, dão-se bem em presença do gesso ou sulfato de calcio. Hoje sabemos que o fator importante é o pH do solo. O carbonato de calcio dissocia-se no solo segundo as regras mencionadas na pag. 66. Sendo sal de ácido fraco e base forte, produz reação básica no solo e neutralisa ácidos eventuais. As plantas calcífilas são as que não toleram acidês; as plantas calcífugas ou silicífilas são aquelas cujas condições de “optimum” se encontram num pH mais ácido.

Isto é bem demonstrado pelos gráficos, já clássicos, de *Olsen*, citado por *Lundegardh* (63). Vêm-se dois tipos de plantas, duas com ótimo de crescimento num pH = 4, duas outras, entre as quais a cevada, com ótimo próximo a pH = 6 ou 7.

O mesmo que pode ser constatado para as plantas superiores é valido para a microflora do solo. Muitas das bacterias mais importantes para a decomposição ou reconstrução das substancias orgânicas diminuem ou cessam sua atividade quando a acidez ultrapassa o pH 6 ou 5. Estão neste caso, os *Azotobacter* que fixam o nitrogenio no solo, as bacterias fixadoras do nitrogenio nas nodosidades das *Leguminosas* e a maioria das bacterias que atacam a celulose.

Se a maioria das bactérias prefere um pH próximo de 7, os fungos em geral são mais acidófilos. Os fungos que compõem as micorrizas das plantas superiores são mais frequentes em solos ácidos. Sua capacidade de decompor as substâncias húmicas complexas, num pH desfavorável para a atividade de outras plantas e microbios, pode explicar a utilidade desta simbiose para tantas plantas (*Melin 75*)¹⁾.

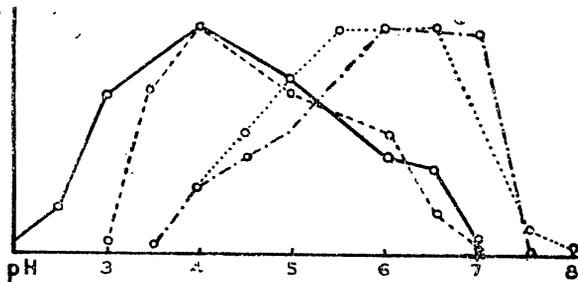


Fig. 32 — Curvas de crescimento de 4 espécies de plantas cultivadas em meios de cultura com diferentes graus de acidez (pH entre 2 e 8), Seg. Olsen apud Lundegardh (163).

As direções diferentes que toma a decomposição das substâncias húmicas, no solo, dependem grandemente dos fatos que acabamos de resumir.

Tamponamento dos solos e soluções — Como mostram as observações referidas por *Feher* (30), o mesmo solo pode variar muito o seu pH. Esta variação, para plantas sensíveis, poderia ser perigosa. Existem, porem, solos (e também águas) tamponados. O tamponamento é provocado, como no nosso sangue, pela co-existência de um ácido fraco e um sal do mesmo ácido, porque a dissociação de todos os ácidos fracos é diminuída — e mantida em certos limites — pela presença dos seus sais. No solo os sistemas-tampão são essencialmente os ácidos carbônico e fosfórico com seus respectivos sais de cálcio. Vê-se que solos pobres em sais solúveis ou cations dissociáveis são fracamente tamponados. Partículas de argila e substâncias húmicas agem como bons tampões, quando sua superfície é munida de muitos ions trocáveis; dissociam ou fixam, conforme o ambiente, os ions H^+ e OH^- .

1) A predominância de fungos em solos ácidos geralmente é considerada como consequência da acidez do solo. Merece, porem, a atenção, o ponto de vista de Romell (96) que mostra que a formação de húmus ácido também pode ser causada pelos fungos.

D) — PERFIS E HORIZONTES

Os fatores mencionados nos parágrafos anteriores provocam muitas vezes uma certa estratificação dos solos; dizemos que o “perfil” tem varios “horizontes”. Em casos típicos, como os mencionados quando apresentamos a podsolização, temos na superfície um horizonte “eluvial” designado na Pedologia com a letra A. Por baixo segue o horizonte B, “iluvial”. Sotoposta, encontramos a rocha mater muitas vezes também em decomposição, mas ainda sem grande alteração química. Este será o horizonte C. Todos estes horizontes podem ser subdivididos em sub-horizontes A₁, A₂, etc.

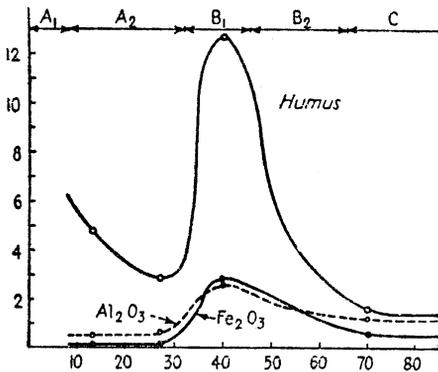


Fig. 33 — Tres curvas mostrando o teor do solo em humus, Al_2O_3 e Fe_2O_3 , coloidais, em diferentes profundidades de um solo (podsol), seg. Jenny (49), com gentil autorização da casa editora McGraw-Hill Book Company, Inc.

Ilustrações de tais fatos contêm as figuras seguintes (33, 34 e 35), tiradas de Jenny (49). A fig. 33 indica o teor dos solos nos tres coloides importantes, humus, Al_2O_3 e Fe_2O_3 . Os primeiros 30 cms. (horizonte A₁ e A₂) são pobres ou de pauperados nas substancias mencionadas. O máximo se mostra no horizonte iluvial B₁ até B₂. Valores constantes caracterizam o horizonte C.

Nem sempre o enriquecimento se dá num só horizonte iluvial. A fig. 34 mostra, em outro solo, os coloides com o seu máximo em B₁ e B₂, ao passo que os carbonatos têm o seu em B₄. Finalmente, veremos (pag. 83) que também é difícil destacar um horizonte C onde não se fazem sentir os processos de eluvião e eluvião.

A estratificação dos solos é um processo que aumenta com a idade. Este processo do “envelhecimento” dos solos é ilustrado no gráfico (fig. 35) sobre podsol que se desenvolve em solos arenosos da Finlândia e cuja idade pode ser constatada. Vê-se o progresso da eluvião e da iluvião juntamente com o deslocamento desta última para cima.

Nos solos brasileiros ha processos de eluvião e iluvião que se intensificam (ou se iniciam) com a derrubada de florestas. Não deve ser difícil e seria de grande interesse estudar as alte-

rações que se dão nos horizontes dos solos em dependência das diferentes "idades", quer dizer da época que passou desde a derubada.

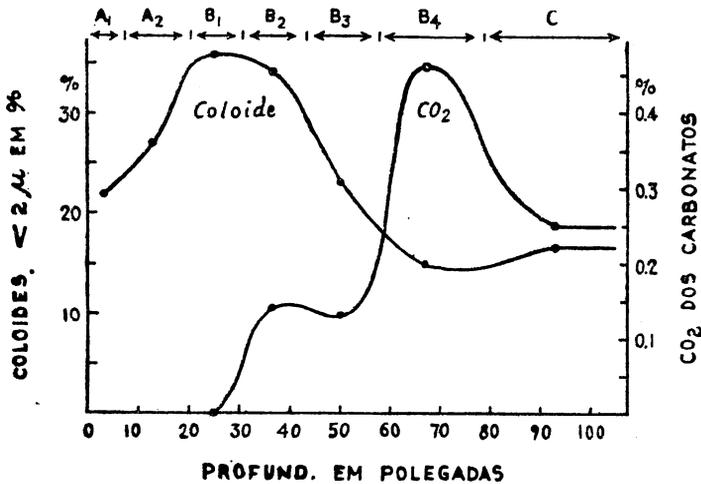


Fig. 34 — Argila coloidal e CO_2 de carbonatos em função da profundidade de um solo argiloso, mostrando os máximos em horizontes diferentes, seg. Jenny (49), com gentil autorização da casa editora McGraw-Hill Book, Company, Inc.

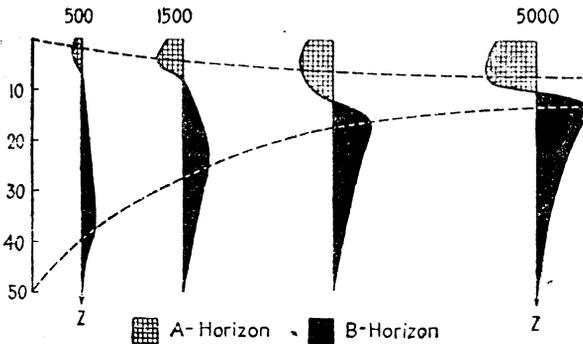


Fig. 35 — Formação de horizontes A e B de um perfil de podsol, em função da idade deste. Seg. Aaltonen e Mattson apud Jenny (49), com gentil autorização da casa editora McGraw-Hill Book Company, Inc.

E) — PARTICULARIDADES DOS SOLOS TROPICAIS

Nos climas quentes caracterizam-se os solos pela decomposição rápida e pela grande profundidade que esta atinge, especialmente em condições húmidas; pela menor importância das

substancias húmicas, pelo desenvolvimento diferenté das argilas que evoluem mais na direção da Caolinita e finalmente pela importancia e pela quantidade dos sesquióxidos. Entre estes, sobressaem especialmente os óxidos de ferro que dão ás terras das regiões quentes a cor vermelha característica.

O porque deste rumo diferente que toma a decomposição das rochas em condições tropicais, especialmente humidas, se delinea hoje pelos trabalhos fundamentais de *Mattson* (68). A explicação parece residir na continuação das considerações que foram expostas nas paginas 69 e seguintes. Os silicatos que restam da decomposição das rochas — decomposição essa mostrada no exemplo do feldspatho — são ácidos fracos ou “acidoides” (vide fig. 30) que entram em ligação com bases fracas ou “basoides”, como o Al_2O_3 e o Fe_2O_3 . Estes sesquióxidos têm, porem, as qualidades basicas só em meios ácidos; em meios neutros ou ligeiramente alcalinos tornam-se ácidos, por seu lado, e como tais não se podem mais ligar aos silicatos. Em condições alcalinas dar-se-á uma desligação completa dos dois componentes e a sílica, em estado coloidal, pode ser removida.

Como expõe *Mattson* (1932, vol. 34, p. 209) condições para tal neutralidade ou fraca alcalinidade são de se esperar, especialmente em regiões tropicais, ao passo que nas regiões mais frias prevalecem reações ácidas. “Nos tropicos, a decomposição é muito mais intensa. Quantidades de bases fortes são libertadas por hidrolise. A materia organica é rapidamente oxidada até ácido carbonico, muito fraco, e agua. A reação da solução do solo, especialmente ao chegar até a zona mais profunda da decomposição na superficie da rocha mater, permanecerá neutra ou até levemente alcalina, a despeito da forte lavagem. Em tais condições, os hidróxidos de aluminio e especialmente de ferro, possuem pouco ou nenhum poder de fixar os ácidos silícicos. Os silicatos sofrem aqui uma rapida hidrolise alcalina, cujos produtos soluveis (sílica e bases fortes) serão removidos por lavagem.

Nas regiões humidas mais frias, tal decomposição é muito mais lenta. Quantidades menores de bases fortes são libertadas num certo intervalo. A materia organica é transformada em ácidos muito mais fortes do que o ácido carbonico. Resulta uma reação mais ácida. Em tais condições o aluminio e, em grau menor, o ferro se combinará com os ácidos silícicos” (l.c. pag. 229).

Acrescentamos a isso que não só os produtos huminicos provenientes da materia organica existem geralmente, nos tropicos, em menor quantidade e acidez. A materia organica forma-se na superficie dos solos; a zona de decomposição, nos tropicos, fica muito afastada de sua influencia por causa da grande profundidade dos solos tropicais.

Vageler (123, p. 141), que parece adotar este ponto de vista, caracteriza, da maneira seguinte, os produtos da decomposição:

- 1) — Substancias em soluçãõ molecular ou coloidal:
 - a) — hidróxidos, carbonatos, cloretos, silicatos, aluminatos, nitratos e sulfatos;
 - b) — traços de sesquióxidos e talvez SiO_2 em dispersãõ coloidal.

Esta soluçãõ tem reaçãõ nitidamente alcalina.

- 2) — Como resíduo potencial:
 - a) — ao lado de material primitivo, restos dos minerais de natureza “sialítica” (Silício e Alumínio), em forma de Caolinita, não faltando minerais do tipo da Montmorilonita, em transiçãõ.
 - b) — material “alítico”, ou “alferítico”¹⁾, quer dizer hidróxidos cristalisados ou em forma de gel, principalmente de Alumínio ou de Alumínio e Ferro;
 - c) — fosfatos de Ferro e de Alumínio.

Só em condições bastante húmidas, originam-se muitos desses minerais sialíticos ou alíticos, quer dizer argilosos. Os solos áridos e semi-áridos dos climas secos carecem das substancias coloidais, sendo leves e arenosos. Neste caso tambem a decomposiçãõ não é profunda.

Em condições húmidas, muito importa a acidês da soluçãõ. Reaçãõ mais ácida não dissolve o ácido silícico, originando-se os sialitos. Reaçãõ alcalina ou neutra arrasta o ácido silícico. Neste caso, restam só os alitos.

Na decomposiçãõ das rochas cristalinas, em condições tropicais, húmidas, o primeiro passo consiste, portanto, na libertaçãõ das bases. A reaçãõ alcalina conduz á dissoluçãõ e dispersãõ da sílica que finalmente é lavada para os rios. Segue-se um enriquecimento em óxidos de Al e Fe. O resultado final são os lateritos²⁾. O nome de laterito, como explica *Harrassowitz* (38, pag. 387) foi usado primeiro em 1807 por *Buchanan* para designar formações superficiais, usadas nas Índias para a fabricaçãõ de tijolos que secam ao ar. Muitos autores empregam esta denominaçãõ para todas as terras vermelhas, ricas em óxidos de Ferro. Segundo *Harrassowitz* (38), o termo deve ser restrito aos casos de acúmulo superficial contendo não só o Ferro, mas ainda o Alumínio.

O Alumínio e o Ferro que compõem o laterito podem existir em varias formas: o Alumínio como Monohidrato ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e

1) Abreviado de Alumínio e Ferro.

2) Do latim, later = tijolo.

Trihidrato ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), ocorrendo estas combinações na natureza em Bauxita e Hidrargilita. O ferro, além do $\text{Fe}(\text{OH})_3$, como Limonita ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), como Hematita (Fe_2O_3) e ainda provavelmente em certas combinações com o ácido silícico, combinações essas que talvez provoquem as cores vivas dessas terras lateríticas.

Os lateritos, que não retêm os cations, são nitidamente inférteis. Também fisicamente se opõem ao crescimento da vegetação pela rigidez das camadas que revestem a terra quasi como uma armadura. Tais crostas, conhecidas especialmente na África, existem também nas partes mais secas do Brasil (Canga).

Muitas vezes, porem, o óxido de Ferro concretisa-se em migalhas, até favoráveis ao arejamento, formando-se uma "pseudo-areia". Nestas condições, o Ferro é pouco solúvel em agua, podendo até fixar da mesma forma o Fósforo. Segundo *Vageler* (123, pag. 67) terras desta natureza, cuja análise total revela valores grandes de P e de Fe nada disso põem á disposição da vegetação.

A grande diferença na decomposição das rochas em condições equatoriais e temperadas ressalta do seguinte dado por *Warth* (128), que muitas vezes é citado neste assunto: a decomposição de doleritos, de composição muito semelhante, dá, no clima tropical e húmido das Índias, um produto laterítico que se compõe, quasi que exclusivamente, dos oxihdratos de Alumínio e Ferro. No clima temperado, húmido, da Inglaterra, em Rowley-Regis, não só o SiO_2 é conservado no produto de decomposição, como também os álcalis adsorvidos nas argilas dos climas temperados (Tab. 23).

TABELA 23
Seg. *Warth* (128).

	Dolerito de Rowley-Regis		Dolerito de West-Ghâts	
	fresco %	decomposto %	fresco %	decomposto %
SiO_2	49,3	47,0	50,4	0,7
TiO_2	0,4	1,8	0,9	0,4
Al_2O_3	17,4	18,5	22,2	50,5
Fe_2O_3	2,7	14,6	9,9	23,4
FeO	8,3	—	3,6	—
MgO	4,7	5,2	1,5	—
CaO	8,7	1,5	8,4	—
Na_2O	4,0	0,3	0,9	—
K_2O	1,8	2,5	1,8	—
P_2O_5	0,2	0,7	—	—
H_2O	2,9	7,2	0,9	25,0
Soma	100,4	99,3	100,5	100,0

Os cations e o SiO_2 , que quantitativamente quasi desaparecem na decomposição dos solos tropicais, podem ser encontrados no regime fluvial dessa regiões. Para documentar este fato apresentamos ¹⁾ algumas análises de aguas de rios tropicais da Guiana inglesa e de rios dos climas temperados da Europa (Tabs. 24 e 25).

TABELA 24

Rios da Guiana inglesa. Seg. Clarke (23).

Constituintes das cinzas em %	Barima	Waini	Essequibo	Demerava	Courantyne	Potaro
CO_2	22,12	28,40	15,74	12,84	22,14	25,89
SO_4	1,39	0,92	5,65	1,15	1,22	1,89
Cl	6,45	6,50	3,36	10,32	6,86	2,88
NO_3	0,51	0,13	1,11	0,97	0,30	2,00
Ca	10,21	5,45	3,84	0,38	5,16	2,25
Mg	4,01	3,02	2,96	2,65	2,39	0,97
Na	2,67	12,88	6,97	10,93	8,75	18,14
K	0,08	1,88	0,54	1,69	2,65	1,26
SiO_2	43,43	25,04	52,80	55,92	41,90	38,54
$(\text{Al} + \text{Fe})_2\text{O}_3$	9,13	15,78	7,03	3,15	8,63	6,18

TABELA 25

Rios da Europa. Seg. Clarke (23).

Constituintes das cinzas em %	Rheno	Elba	Danubio	Weichsel	Rhodano	Duero
CO_2	41,10	45,04	51,70	47,78	36,69	33,73
SO_4	11,13	8,88	8,54	9,49	26,28	23,37
Cl	3,65	3,56	1,31	2,70	0,71	7,74
NO_3	1,63	0,94	0,31	?	0,31	Sp
Ca	31,81	26,37	27,40	28,52	26,42	23,93
Mg	3,95	2,77	6,00	4,44	3,66	6,05
Na	2,08	4,02	1,12	1,57	) 3,98	2,00
K	1,05	3,06	0,72	0,39		
SiO_2	2,69	4,66	2,42	4,49	1,55	1,03
$(\text{Al} + \text{Fe})_2\text{O}_3$	0,89	0,77	0,48	0,62	?	0,10

1) *Agradecemos ao Dr. F. Hackemann, representante do Sindicato de Potassio em S. Paulo, que muito nos auxillou na reunião destes dados.*

A grande riqueza das águas tropicais em SiO_2 é o traço mais característico e impressionante. As quantidades de cátions parecem pequenas, mas, considerando-se o grande volume de águas lançado nos mares pelos rios, tomam vulto.

Para o Amazonas possuímos valores colhidos por *Katzer* (51) e dos quais apresentamos alguns na tabela 26. Os valores de SiO_2 não são tão grandes como nos rios da Guiana Inglesa, mas ainda ficam em redor de 20 % do valor dos resíduos. Isso era, talvez, de esperar segundo as explicações dadas na pag. 82. A região do Amazonas é caracterizada por abundância de substâncias húmicas que até provocam a cor escura dos vários rios "pretos". Já vimos que as substâncias húmicas se opõem á perfeita dissociação dos silicatos.

TABELA 26

Substancias dissolvidas em aguas amazonicas, seg. Katzer (51, p. 48)

COMPOSTOS DISSOLVIDOS	Amazonas I (*)		Amazonas II (*)		Xingú (*)		Tapajoz (*)	
	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%
SiO_2	9,4	24,3	12,2	22,4	9,6	16,8	9,2	18,2
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	3,6	9,3	6,2	11,4	3,9	6,8	2,8	5,6
CaSO_4	1,1	2,8	1,3	2,4	6,8	11,9	4,0	7,9
CaCO_3	11,4	29,5	14,6	26,3	12,9	22,6	13,2	26,1
MgCO_3	2,2	5,7	1,5	2,8	6,2	10,3	4,8	9,5
KCl	3,0	7,7	4,0	7,3	3,0	6,3	2,6	5,1
NaCl	2,3	5,9	5,3	10,6	2,4	4,2	1,7	3,4
Materia organica.	5,7	14,7	8,9	16,3	11,8	20,3	12,2	24,2
Resíduos da água filtrada pela evaporação a 110° C.	39,0 (38,7)	(99,9)	54,5	(100,0)	57,2	(100,0)	50,5	(100,0)
Materias em suspensão	100,4		106,6		87,5		91,2	

- (*) — Amazonas I — perto de Obidos, a 26 m. de profundidade.
 — Amazonas II — perto de Obidos, a 3,5 m. de profundidade.
 — Xingú, pouco acima de Porto de Moz, a 0,5 - 1 m. de profundidade.
 — Tapajoz, em Itaituba, a 0,5 - 1 m. de profundidade.

Os valores dos sais minerais parecem pequenos, mas considerando-se a grande quantidade de água despejada no Oceano pelo Amazonas, tomam vulto. A quantidade de água que passa por segundo por Obidos, rio abaixo, para o mar, é avaliada em 120.000m^3 por segundo, em média. Isso dá 7,2 milhões de metros cúbicos por minuto. Mas, considerando-se as grandes quantidades de água que mais para diante, rio abaixo, ainda afluem até a desembocadura, não cometeremos grande erro contando com 10 milhões despejados por minuto, o que daria 14.400 milhões por dia.

O conteúdo da água em KCl é de 3 até 4 mg. por litro. Como as matérias em suspensão, que aqui não são incluídas no cálculo, podem conter um pouco de potássio, desprezamos esta quantidade e, em compensação empregamos o valor maior de 4 mg., indicado na coluna Amazonas II; 4 mg. por litro equivalem a 0,0004 %. Chegamos, assim, a 57.600 toneladas por dia, o que dará 21.024.000 toneladas por ano de KCl que é levado da terra e transportado do continente para o mar. Esta quantidade corresponde a mais de 13.000.000 de toneladas de K_2O , valor este que é interessante, se considerarmos que a produção de K_2O da indústria mundial ¹⁾ atingiu, por ano, antes da guerra, 2.000.000 de toneladas aproximadamente. Apresentamos este exemplo para documentar já, aqui, a grande importância da lavagem das terras pelas águas de chuva, assunto este ao qual voltaremos no capítulo seguinte.

1) Segundo dados gentilmente fornecidos pelo Dr. F. Hackemann.

F) — O REGIME DA ÁGUA NOS SOLOS

a) — ÁGUA APROVEITAVEL E INAPROVEITAVEL

A economia da agua no solo deve ser estudada sob o ponto de vista da estática e da dinâmica. Não se trata só de saber quanta agua existe á disposição das plantas, mas tambem quanta pode ser fornecida num lapso de tempo dado. Sob o primeiro ponto de vista é interessante saber qual a capacidade de um solo de reter agua. Esta depende da porosidade, sendo os poros o espaço que pode ser enchido. Para mostrar de que valores se trata, damos aqui alguns algarismos como a Pedologia os apresenta para varios tipos de solos.

TABELA 27

VOLUME DE POROS (seg. *Wiessmann*, 135)

Areia	47 %	Areia rica em humus	59 %
Areia limosa	50 %	Argila	59 %
Limo arenoso	56 %	Turfa	78 %

Teoricamente, todo este volume poderia ser de agua; o solo, porem, geralmente, não retém tudo porque, pelo próprio peso, uma parte de agua escoa, a “agua gravitativa”. A agua não gravitativa é retida pelas forças elétricas já caracterizadas quando, na pag. 65, falamos das capas de agua que envolvem os ions parcial ou completamente dissociados das superficies. Antigamente, era chamada agua capilar; hoje sabemos, especialmente pela análise de *Vageler* (120), que as forças que atraem e retém a agua nos poros do solo não são simplesmente desenvolvidas pela superficies dos fragmentos sólidos da terra: são essencialmente atrações elétricas que partem dos enxames de ions. O nome que damos ao fenômeno, porem, não importa. Tambem não nos deve preocupar se outros autores designam as mesmas forças como forças osmóticas; os ions retidos por forças elétricas perto das superficies têm efeito osmótico; imobilizados pelas atrações elétricas, comportam-se como se estivessem contidos dentro de uma película invisível.

Uma parte da capa de agua, aquela que é retida bem nas imediações das particulas, é distinguida como agua higroscópica. Um solo secado perfeitamente (a 105-110° C), quando colocado numa atmosfera húmida, absorve agua com muita avidéz, aquecendo-se com isso. A quantidade de agua assim adsorvida por um solo dado depende da humidade relativa da atmosfera ambiente; de acor-

do com *Mitscherlich* emprega-se uma atmosfera de humidade relativa de 96 %, sobre ácido sulfúrico a 10 % (veja parte I, pag. 51 ¹⁾). As determinações de *Mitscherlich* são fundamentais e os valores dados em seguida baseiam-se no seu método. Na literatura inglesa e americana o leitor, porém, depara com métodos um pouco diferentes. Em Rothamsted, na Inglaterra, usa-se humidade relativa de 50 % e nos Estados Unidos a de 98,2 %. Em todos estes casos o solo, quando estabelecido o equilíbrio, tem a mesma força de sucção que a atmosfera do dessecador; esta, no caso de 96 % de humidade relativa equivale a cerca de 58 atmosferas.

A água fora desta capa de água higroscópica é retida pelas mesmas forças elétricas; mas aqui estas são menores. Também aqui se encontram os ions dissociados, só em distribuição muito menos densa. Assim as forças com as quais a água é atraída diminuem rapidamente com a distancia da superfície das partículas. Se o manto da água iguala 2 vezes a água higroscópica temos na superfície deste só uma força retentiva de 6,25 atmosferas, segun-

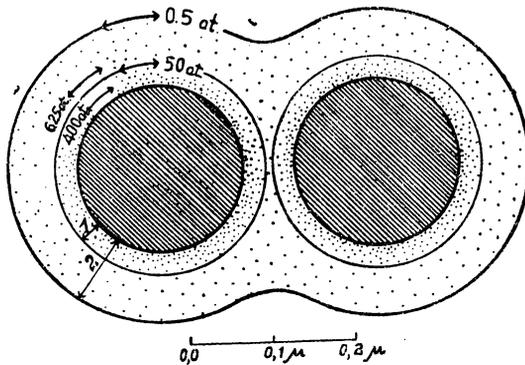


Fig. 36 — Apresentação esquemática de duas partículas coloidais com sua capa de água adsorvida pelos enxames de ions, idealizada por Laatsch (54), segundo calculos de Vageler.

do um cálculo de *Vageler*. O triplo da higroscopicidade corresponde a uma sucção dos solos de 1,8 atmosferas e entre 4 a 5 vezes a água higroscópica, as forças nas superfícies das partículas são menores do que 1 atmosfera ²⁾. Se, ao contrario, o solo só contem frações da água higroscópica, a força de retenção cresce

¹⁾ 10 % em peso, não em volume; a nossa tabela citada indica volumes.

²⁾ Os valores são aproximados, dependendo da qualidade dos ions.

extraordinariamente. O solo só com a metade de agua higroscópica desenvolveria 400 atmosferas e com 0,1 de higroscopicidade, 50 mil atmosferas, com as quais atrai e absorve agua. Isto mostra a figura bem esquemática mas ilustrativa de *Laatsch* (54).

Em numeros arredondados costuma-se attribuir a um solo que contem unicamente agua higroscópica, uma força de sucção próxima de 50 atmosferas; alem deste limite um aumento grande das forças corresponde a uma diminuição pequena da agua higroscópica.

Quando a agua é retida com forças de 1 atmosfera, isso quer dizer que pode ainda contrabalançar o peso de uma coluna de agua de 10 metros de profundidade que se poderia estabelecer para o interior do solo — caso não fosse retida por outras forças. Geralmente, trata-se de distancias menores até o lençol de agua subterraneo. Quando o peso da agua é maior do que as forças retentoras, a agua desce para o fundo. Esta é a agua gravitativa.

Podemos assim distinguir:

- 1) — agua higroscópica;
- 2) — agua retida por forças menores, tambem chamada “osmótica” ou “capilar”;
- 3) — agua gravitativa.

A agua higroscópica pode ser considerada como absolutamente inaproveitavel para a planta. A agua gravitativa, enquanto ao alcance das raizes, sempre será aproveitavel — não se tratando de soluções concentradas, que por sua vez desenvolvem forças osmóticas.

Para saber qual a parte aproveitavel da agua “osmótica” ou “capilar”, olhamos primeiro para as forças de sucção das raizes. Reproduzimos aqui alguns dados reunidos por *Vageler* (120), não com o intuito de dar valores muito exatos, mas para ilustrar a ordem de grandeza de que se trata.

TABELA 28
FORÇAS OSMÓTICAS DE RAIZES (*Vageler*, 120)

Planta	Força osmótica em atmosferas	Autor
Cevada (<i>Hordeum</i>)	6.7 — 15.99	} <i>Eibl</i> <i>Pammer</i> <i>Taschdian</i> , <i>Vageler e</i> <i>Alten</i> <i>Oppenheimer</i>
Alfafa (<i>Medicago</i>)	27.0 — 29.5	
Algod. egyp. (<i>Gossypium</i>)	13.3 — 15.3	
Algod. americ. (<i>Gossypium</i>)	5.1 — 15.6	
Funho (<i>Nicotiana</i>)	4.75 — 11.1	
Tomate (<i>Lycopersicum</i>)	5.5	
<i>Citrus nobilis</i>	40.5 — 58.0	
<i>Citrus medica</i>	26.0 — 47.0	
Milho egypc. (<i>Zea</i>)	17.0 — 28.0	
Trigo egypc. (<i>Triticum</i>)	13.0 — 28.0	

Com exceção dos valores altos dos *Citrus*, os valores mantêm-se abaixo das 50 atmosferas que correspondem á agua higroscópica. Isto quer dizer que mais do que esta é agua inaproveitavel ou “morta”. O gráfico seguinte mostra a quantidade de agua

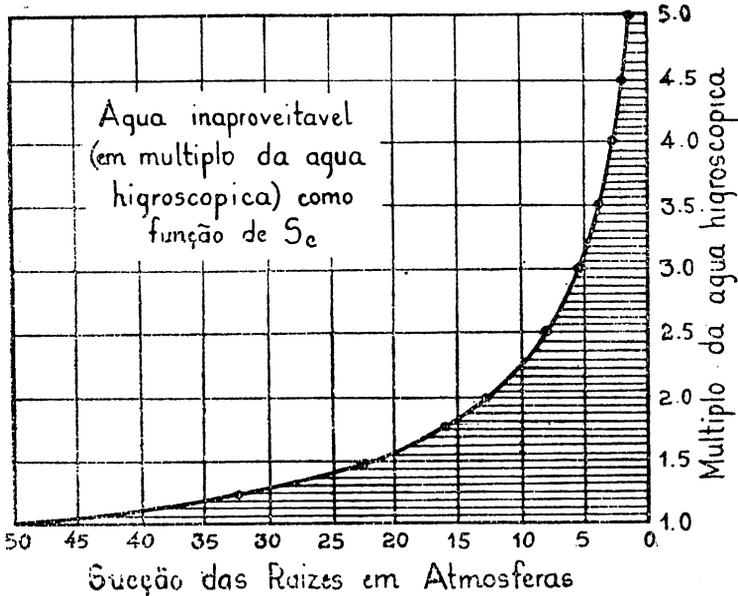


Fig. 37 — Esquema segundo Vageler (120).

inaproveitavel para raízes cujas forças de sucção variam entre 50 e 0 atmosferas. Para a raiz com 50 atmosferas de força de sucção, quasi toda a agua que não fosse higroscópica, teoricamente, — e se não existisse o ponto de vista dinâmico, discutido na p. 94 — seria aproveitavel. Com força de 12 atmosferas, a raiz aproveitará só a agua que excede 2 vezes a quantidade de agua higroscópica, e assim por diante.

A quantidade de agua retida por higroscopicidade varia segundo os solos, como mostrou a nossa tabela 19 (p. 62). Vê-se que nas argilas e nas turfas, 18 até 24 % da agua podem ser retidos higroscopicamente, sendo inacessiveis, portanto, a todas as raízes. Forças superiores a 50-60 atmosferas seriam de pouca utilidade para as raízes. No dominio da agua higroscópica o movimento desta deve ser lento. Opõem-se ao movimento não só as grandes forças de retenção, mas tambem o pequeno contacto existente entre as particulas do solo, quando estas só mantem as capas isoladas de agua higroscópica.

A água aproveitável no solo constitue as reservas prontas para o uso das plantas; a determinação destas quantidades encontra, porem, dificuldades. Já dissemos que toda a água gravitativa pode ser considerada como sendo aproveitável, enquanto estiver ao alcance das raízes. Como, porem, escoar para o lençol subterrâneo e em seguida para riachos e rios, não constitue uma reserva estevel, a não ser para plantas cujas raízes se aproximam do lençol subterrâneo. Plantas com raízes menos profundas, como a maioria das cultivadas, encontram, por isso, a sua reserva mais valiosa na fração da água retida que lhes será acessível. A sua quantidade oscila entre o valor máximo que o solo pode reter, a "field capacity" dos autores e a porcentagem de água que as raízes não mais podem tirar do solo. Este limite inferior corresponde ao que geralmente se chama de "wilting point" ou ponto de murchamento ¹⁾.

A determinação de ambos os limites é sujeita a incertezas. A "field capacity" determina-se humidecendo uma certa quantidade de terra, antes dessecada, até não poder mais reter água e até escoar — durante certo espaço de tempo, que varia segundo os autores — toda a água gravitativa. Valores assim determinados no laboratório, como os representados na tabela seguinte não dão informações sobre o comportamento da água "in situ", quer dizer na posição original do solo. Não devemos esquecer que, na posição natural, os solos têm uma estrutura diferente da dos solos desagregados do laboratório, influenciando também a pressão das ca-

TABELA 29

CAPACIDADE DE RETENÇÃO DA GUÁ EM % DO PÊSO

(Wiessmann, 135, p. 233)

Areia	18.8%	Areia rica em humus	52.8%
Areia limosa	21.9%	Argila	80.9%
Limo arenoso	20.2%	Turfa	126 %

madras sobrejacentes. O essencial é que as chuvas nunca poderão encher todos os poros do solo natural como a água destilada ou de torneira o faz com os solos afogados do laboratório. No solo natural uma certa quantidade de ar não pode escapar e não pode ser substituída por água.

¹⁾ Os conceitos e as definições na Pedologia variam. Empregamos a "field capacity" no sentido de Veihmeyer e Hendricksen (1929) e o "wilting-point" como foi introduzido por Briggs e Shantz (1912); discussão e literatura traz Baver (4).

Para contornar tais dificuldades *Burger* e *Siegrist* tentaram introduzir métodos novos, discutidos e examinados por *Lüdi* e *Luzzato* (61), que indicam a literatura. Trata-se de tirar, mediante cilindros de aço, certo volume de terra da profundidade desejada, preservando a sua estrutura natural, e examinar a quantidade de água que pode entrar e ser retida enquanto a terra conservar o volume, a estrutura e a textura iniciais. Valores bem concordantes e satisfatórios ainda não puderam ser obtidos. Também com estes métodos, o ar que pode ser expulso e substituído por água no laboratório, pode diferir do substituído no solo "in situ". Até neste a substituição dependerá grandemente da maneira como o solo é humedecido, se por aguaceiros torrenciais ou por chuvas finas. Finalmente, a última parte da água gravitativa escoar com tanta lentidão, que a distinção entre esta e a água retida por forças osmóticas ou elétricas se torna impraticável.

Por isso, nunca poderemos indicar com certeza a quantidade máxima de água que um solo pode reter. Podemos, porem, colher

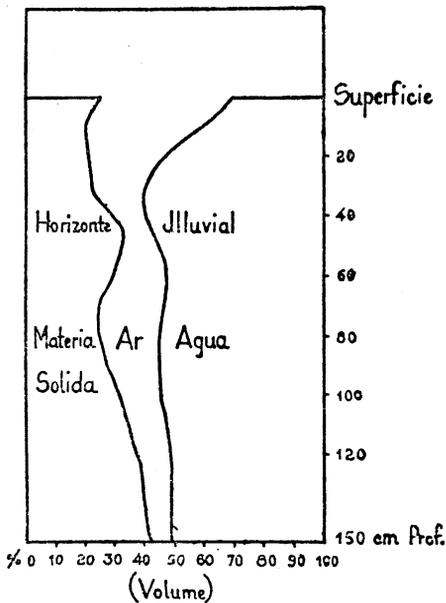


Fig. 38 — Distribuição de água, ar e substância sólida, num solo quasi neutro de floresta virgem (Seg. *Vageler*, 123).

dados, em varias estações e condições, sobre a distribuição de água e ar no solo. Tais dados podem ser esquematizados como no perfil (fig. 38) de *Vageler* (123), que infelizmente só apresenta os primeiros 150 cms. do solo. No Brasil os solos e a rizosfera atingem profundidades, muitas vezes, superiores a 20 metros. Neste caso, precisamos empregar outros métodos de estudo que vão ser apresentados na p. 100 e seguintes.

Dificuldades parecidas encontramos com o limite inferior das reservas, quer dizer com a determinação do ponto em que praticamente a água se torna inaproveitável para a planta. Este é o ponto do murchamento permanente ou "permanent wilting", conceito esse já mencionado á p. 92.

As plantas murcham quando a condução da água dentro ou fora delas, isto é no solo, se torna insuficiente. Este pode ser o caso quando a evaporação forte exige demais da plan-

ta. Pode falhar o sistema condutor dentro da planta, como podemos observar em muitos exemplares dos nossos jardins, cujas folhas murcham ao sol do meio dia até num solo bem regado. Pode falhar também a condução da água dentro do solo. Nestes casos teremos um murchamento transitório e a turgescência se restabelece quando a evaporação diminua. Só quando no solo faltar toda a água que pode ser conduzida às raízes, ocorrerá o murchamento permanente. Neste caso, a planta, mesmo que seja transferida com o seu vaso para uma atmosfera saturada (câmara húmida), onde cessa toda a evaporação, não poderá mais restabelecer a turgescência. O grau de saturação do solo neste estado marca o limite inferior da água aproveitável.

Muitos pesquisadores determinaram, assim, o "wilting point" usando plantas envasadas e a câmara húmida. Os resultados referidos nos tratados de Fisiologia como o de *Maximov* (71, p. 65 e segs.) e de Pedologia, como o de *Baver* (3, p. 236) indicam que o ponto do "permanent wilting" varia pouco para as raízes de diferentes espécies, dependendo antes dos tipos de solos. Como água inaproveitável revelou-se em geral aquela que iguala 1,5 até 2 vezes a quantidade da água higroscópica.

Os resultados de tais determinações, porém, podem variar com as condições. Como mostrou *Caldwell* (16) fornecem valores concordantes para transpiração relativamente fraca. Em condições de transpiração forte aumenta a parte inaproveitável da água. As razões para isso podem ser várias: forte absorção pelas raízes poderá criar em redor destas uma zona mais seca do solo, que deveria interromper ou prejudicar toda a condução da água das partes mais afastadas do solo. Também o poder de absorção da planta depende do estado fisiológico com o qual pode resistir e se adaptar às consequências do dessecamento da terra.

O método do "wilting point" contém mais uma incerteza que, ao nosso ver, deve ser considerada: o restabelecimento das plantas na câmara húmida — podemos supor — faz-se com os estômatos fechados. Para vegetar no campo a planta precisa abrir os estômatos e então as suas necessidades de água ultrapassarão de muito as determinadas nas experiências citadas. Na verdade, o problema da água aproveitável deve ser considerado sob o ponto de vista dinâmico. Para a vegetação no campo não importa tanto se o solo ainda contém água aproveitável, mas se as plantas, na unidade de tempo, podem absorver tanta humidade quanta têm que gastar — com estômatos abertos! — nas condições do seu ambiente. Por isso, a velocidade com a qual a água pode ser conduzida no solo torna-se o problema mais importante e hoje muito ventilado. *Sekera* (103) considera que de toda a água teórica ou estaticamente aproveitável, praticamente 75 % poderão ser utilizados, devido a causas dinâmicas. Que tais valores só podem indicar uma ordem de grandeza já o indicou *Vageler* (120,

p. 271); depois do que acabamos de expor, em condições de grande transpiração, toda a água suposta por *Sekera* não poderá afluir à raiz com a velocidade necessária.

Praticamente, a vegetação no terreno já será prejudicada e paralisada antes do solo chegar ao ponto de murchamento do laboratório. O julgamento sempre dependerá de observações no próprio campo. Neste, acrescenta-se mais um fator de incerteza: a profundidade das raízes, que em plantas de cultura, às vezes, é conhecida, mas na vegetação espontânea geralmente é ignorada.

Com um pequeno aumento da profundidade aumenta muito o teor de água de solos que estão em dessecamento. Quando não se trata de solos pouco espessos, a rizosfera sempre atinge camadas com teor de água diferente. Plantas de cultura com rizosferas mais ou menos conhecidas, talvez possam ser estudadas pelos métodos de laboratório. Associações naturais no campo requerem pesquisas que abranjam em conjunto todas as condições do solo "in situ" (Vide p. 100).

b) — O MOVIMENTO DA ÁGUA

Com as últimas observações, já tocamos na questão do movimento de água nos solos. Este movimento geralmente é mais lento do que se imagina, mesmo quando se trata de água gravitativa. Interessantes são, neste conjunto, as observações de *Rotmistroff* (97) em Odessa. As estepes estudadas por este Autor apresentam alguns caracteres que as aproximam das condições do Brasil. Também, lá, o lençol subterrâneo de água pode ser encontrado em profundidades de 20 metros. Também, lá, há uma época nitidamente seca, seca essa que atinge só as camadas mais superficiais do solo. As observações deste Autor são tão interessantes que transcrevemos aqui suas palavras: "... experiências sobre a humidade do solo, que foram feitas no campo de ensaio de Odessa mostraram que um campo de superfície condensada e sem vegetação, durante a seca, no decurso de 1 ½ a 2 meses, só perde sua água numa camada que não ultrapassa 30 cms. de profundidade, ao passo que em camadas mais profundas, desde 40 até 50 cms., não é observado decréscimo de humidade. Isso aconteceu num lapso de tempo que basta perfeitamente para se poder constatar todos os fenômenos que acompanham a seca; pois, 2 meses sem chuva dão uma seca legítima. ..."

Esta citação mostra o fato importante que a subida capilar é insignificante: as camadas superficiais ficam perfeitamente secas, ao passo que na proximidade imediata há camadas subjacentes abastecidas com água. Grande lentidão foi também constatada no movimento descendente da água gravitativa. Deixamos falar novamente *Rotmistroff*: "... todas as constatações ao meu

dispor sobre humidade no solo do campo de Odessa indicam que a agua que ultrapassou a profundidade de 40 até 50 cms. nunca mais volta á superficie, a não ser pelas raizes. Mas, a agua que não foi captada pelas raizes passa para as camadas mais profundas, progredindo anualmente 2 metros em profundidade.....”

Um movimento da agua gravitativa ou escoamento, de 2 m por ano ou 15 á 20 cms. por mez, é bastante lento. A velocidade dependerá, sem duvida, grandemente, do estado de saturação do solo, porque, como vimos, a agua gravitativa pode ter que superar pequenas forças de sucção que a retêm e além disso depara com resistencia por fricção, que pode alcançar valores grandes (*Sekera* 103, conta com 5 - 10 atmosferas).

A agua gravitativa, fora e dentro do lençol subterraneo, pode mover-se tambem no sentido lateral; tudo isso o leitor encontra discutido por *Meinzer* (74).

O dessecamento só superficial é documentado tambem por pesquisas em climas mais áridos. *Birand* (8) encontrou em Ankara os valores seguintes:

TABELA 30

CONTEÚDO DE AGUA DO SOLO EM % DO PESO SECO,
seg. *Birand* (8) em Ankara (Turquia), no ano 1936

Profundi- dade (cm)	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto
2-5	18,9	20,6	9,8	1,1	1,3
10	23,4	27,8	11,3	2,5	2,2
20	27,2	28,2	18,2	8,1	6,9
50	27,9	26,9	21,4	11,8	12,6
80	17,4	16,1	17,7	11,3	8,9
120	26,2	25,3	27,8	25,9	24,4

Os meses de Junho até Outubro, lá, são de seca mais pronunciada; caindo ainda os meses sem chuva no verão. A humidade relativa do ar então está tão baixa, que a superficie do solo perde quasi perfeitamente a sua agua. A seca, porem, atingiu só o primeiro metro de profundidade; infelizmente não ha observações ultteriores que provavelmente mostrariam uma penetração mais profunda. Esta aliás dependerá da existencia e da atividade de raizes em tais camadas, como acabamos de ver pelas observações de *Rotmistroff*.

Nos solos de Gezira, no Egipto, *Andrews* (1) constatou, depois de 8 meses de seca, num solo sem ou quasi sem vegetação (“dry fallow”), os valores seguintes:

TABELA 31

HUMIDADE DO SOLO EM % DEPOIS DE 8 MESES DE SECA
 ("DRY FALLOW") no Egito, seg. *Andrews* (1)

Profund. em polegadas	Agua	Profund. em polegadas	Agua	Profund. em polegadas	Agua
0-6	7.4	24-30	20.1	48-54	23.6
6-12	10.8	30-36	21.3	54-60	23.4
12-18	15.6	36-42	22.9	60-66	22.2
18-24	17.5	42-48	23.6	66-72	21.6

Tambem aqui só os primeiros decímetros secam. Estes solos são classificados como muito argilosos; munidos portanto, provavelmente, de maior força de retenção d'agua. Uma parte da agua das camadas mais baixas, porem, a que ultrapassa 20 %, deve constituir agua aproveitavel: foi constatado que acima deste valor a tiririca (*Cyperus rotundus L.*) que, como na America do Sul, tambem na Africa e na Asia constitue uma praga frequente, pode retirar agua deste solo. Isso após 8 meses de seca num clima desértico!

c) — AS RESERVAS DE ÁGUA

Nos paragrafos antecedentes vimos a importancia das reservas de agua accessiveis á vegetação. A quantidade de agua que a natureza põe á disposição das raizes depende da quantidade das precipitações — grandeza essa que facilmente pode ser registrada. (Uma exceção fazem os casos de irrigação, que pode ser artificial ou natural, esta última quando uma região recebe agua por meio de rios provenientes de lugares mais húmidos). Nunca, porem, toda a agua de precipitação ou de irrigação pode entrar no regime da vegetação. Abstração feita das precipitações retidas na ramagem — caso esse especialmente importante nas florestas, onde pode perfazer 1/4 até 1/3 das precipitações, ao passo que nos campos é insignificante — temos que considerar a agua perdida por escoamento e a gasta por evaporação. Quanto ao escoamento, este pode ser superficial ou de profundidade; entra, em todo o caso, no sistema fluviométrico e, quando se trata do balanço de agua de regiões inteiras, pode ser medido ou avaliado; entretanto, em habitats pequenos e isolados, a sua determinação pode ser difficil.

A maior incognita, porem, é a evaporação e esta parte é de avaliação difficilima. Os dados dos meteorologistas, já por si incertos, são calculados a partir de uma superficie de agua, que, segundo as condições de ventilação e aquecimento, dá valores muito variaveis. Muito mais incertos ainda tornam-se os valores quando consideramos a evaporação que provem do solo (veja *Carmargo* e *Vageler*, 17, I, p. 65). Este, quando muito húmido, pode evaporar tanto e até mais do que uma superficie livre de agua. *Stalfelt* (113) encontrou na Suecia, em solos húmidos e despídos de vegetação, uma evaporação de 133 % da evaporação livre de agua. Uma camada protetora de musgos — que secam superficialmente sem conduzir agua — baixou a evaporação ao valor relativo de 53 %. Uma camada de plantas superiores, da altura media de 1 metro, aumentou a transpiração do solo até valores entre 134 e 295 %. Quanta agua pode transpirar uma vegetação alta e rica em folhagem, como as nossas florestas pluvio-tropicais, cheias de epifitas e trepadeiras, isso ainda não ousamos avaliar. De outro lado, um solo húmido mas com uma superficie seca, quando despido de vegetação, tem uma evaporação próxima de zero, como nos ensina a cultura seca ou “dry-farming” (pag. 120).

Lisimetria. — Quanto ás nossas incertezas sobre o que acontece com as precipitações no solo, a Ecologia moderna tenta resolve-las pelo “lysimetro”: para isso prepara-se numa caixa uma amostra de terra a estudar, geralmente com a superficie de 1 m² e a profundidade de 1 metro ou 1 metro e meio. Tal bloco, colocado em posição normal, no lugar de onde foi tirado, ao nivel da terra do campo, pode ser pesado isoladamente. O fundo deixa escoar a agua que pode ser colhida e medida. Conhecendo-se a quantidade das precipitações, sabemos quanta agua é conduzida para a amostra, qual a parte perdida por escoamento e quanta agua foi evaporada. A terra desse bloco deve ter, tanto quanto possivel, a estrutura e a textura da do campo; pode ficar despída ou trazer a vegetação a estudar.

Tais observações dão resultados interessantes, como mostra a fig. 39, indicando os valores 1) da precipitação total, 2) da evaporação e 3) do escoamento, durante um ano, num campo europeu. Podemos deduzir daí todo o balanço da agua: ver quando ha excesso da agua no solo, formando-se as reservas, quando, devido á evaporação, diminuem as reservas e quando ha perigo de esgotamento destas ¹⁾.

Este método, será porem, entre nós, de uso limitado, por causa da grande profundidade dos solos brasileiros. Nos climas temperados, a rizosfera geralmente não pode ser profunda, por-

¹⁾ A agua colhida pelo lisimetro contem sempre sais lixiviados, de maneira que o exame da lixiviação de um solo tambem é feito por lisimetria, o que explica o nome do metodo.

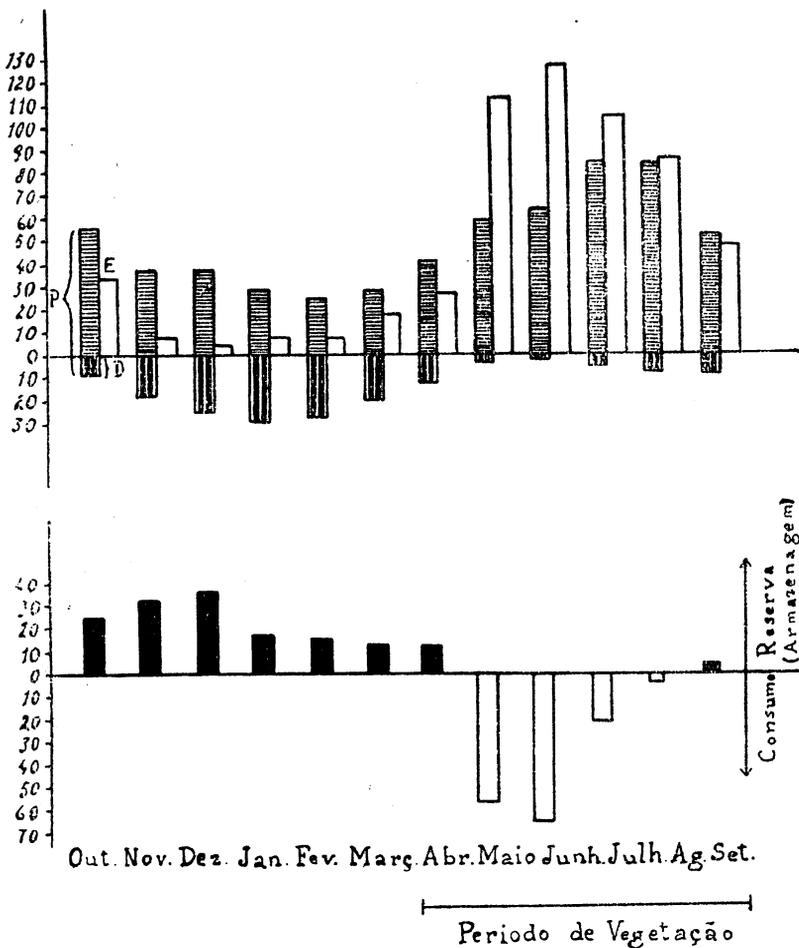


Fig. 39 — Exemplo do andamento da economia de agua, num solo do baixo Elba (medias mensais, seg. Rothe apud Laatsch (54).

Diagrama superior

Retângulos abaixo da linha 0 : escoamento (D).

Retângulos estriados horizontalmente, acima da linha 0 : precipitações (P) — escoamento.

Retângulos em branco, acima da linha 0 : evaporação (E).

Diagrama inferior

Retângulos em preto, acima da linha 0 : reserva = precipitação — (escoamento + evaporação).

Retângulos em branco: consumo = excesso da evaporação sobre a diferença : precipitação — escoamento.

que lá, via de regra, não temos solos profundos. Nos climas quentes, a decomposição das rochas subjacentes é muito mais rápida e intensiva; em grande parte do Brasil, cuja superfície geológica é de granito ou de gneiss, deparamos com uma capa de decomposição de 10 até 20 e mais metros. Em solos diabásicos, calcareos, etc., a decomposição parece um pouco mais lenta, mas geralmente maior do que em climas frios — excetuando-se talvez os territórios mais secos do país.

Para a África ocidental franceza *Scaetta* (98) indica profundidades da mesma ordem de grandeza; "D'ailleurs, plus le climat est humide et chaud (bande équatoriale), plus le sol est épais: épaisseur qui peut atteindre facilement 30-40 mètres". (l.c., pag. 4). Para a Indochina franceza os valores mencionados por *Chevallier* em *De Martonne* (67), são, na media, de 15 até 20 metros, com um máximo de 40 e um mínimo de 1,5 até 2 metros. Na apresentação fundamental sobre os solos tropicais de *Harrassowitz* (38) tais profundidades parecem a regra para clima quente e humido.

Esta grande profundidade dos solos, geralmente só é mencionada casualmente pela ciencia; é, porem, da maior importancia para o regime da agua da vegetação do Brasil. As raízes das nossas plantas geralmente penetram até grande profundidade. Até as Gramineas, ás quais costumamos atribuir as raízes menos profundas, têm raízes que alcançam varios metros de profundidade, como, por exemplo, as da cana de açúcar, que, segundo informação verbal do *Prof. Jardel Nery* (Escola Superior de Agricultura de Viçosa, Minas Gerais) podem ser encontradas a mais de 5 metros de profundidade. Até o *Kikuyo* (*Pennisetum longistylum*) de aparência tão superficial, segundo os plantadores, tem raízes e rizomas de varios metros de profundidade. As plantas dicotiledoneas podem ir muito alem.

Estudos em poços. — Tais profundidades exigem métodos de estudo especiais. A Pedologia moderna aconselha fazer covas e tirar das paredes destas, imediatamente depois da abertura, as provas de terra a analisar. Isso é possível quando se trata de poucos metros de profundidade. O pesquisador, em casos como o nosso, precisa penetrar até o lençol subterraneo, quer dizer, ele deve abrir o solo até talvez 20 ou mais metros. Neste caso, emprega-se a técnica dos poços: a cova deve ser um poço normal. A medida que a perfuração progride, tiramos das paredes provas de terra, usando para isso cilindros que permitem a coleta de volumes certos de 50 ou 100 cm³.

Como se trata de um método novo, resumimos aqui os pormenores mais interessantes de estudos nossos em andamento (93). Estes estudos foram feitos nos campos cerrados de Emas, perto de Pirassununga (Estado de São Paulo), onde tivemos todas as facilidades devido ao auxilio e a colaboração ativa dos colegas da

Estação Experimental da Divisão de Caça e Pesca do Departamento Nacional da Produção Animal do Ministerio da Agricultura. Os campos lá são do tipo dos estudados por *Warming* em Lagoa Santa, caracterizados por uma vegetação cujos representantes mais interessantes se encontram na relação seguinte:

Dimorphandra mollis Benth.
Stryphnodendron Barbatimão Mart. (Barbatimão)
Kielmeyera coriacea Mart. (Pau Santo, Folha Santa)
Tocoyena brasiliensis Mart.
Tocoyena formosa Schum.
Palicourea rigida H.B.K. (Herva gritadeira)
Andira humilis Mart.
Anacardium pumilum St. Hilaire (Cajueiro do campo)
Sweetia dasycarpa Benth.
Connarus suberosus Planch.
Aegiphila Lhotzkyana Cham.
Erythroxylon tortuosum Mart.
Byrsonima verbascifolia Rich.
Didymopanax vinosum E. March.
Cocos leiospatha Barb. Rodr. (*Butia leiospatha* Becc.)
Caryocar brasiliense Cambess. (Piqui)
Zeyhera montana Mart. (Bolsa de pastor)
Machaerium acutifolium Vog.
Copaifera Langsdorffii Desf. (Oleo de Copaiba)

Todas estas plantas, pequenas árvores e arbustos, vegetam durante todo o ano. A cobertura de *Gramineas* compõe-se especialmente de *Echinolaena inflexa* e *Tristachya chrysothrix*. Ao passo que as plantas arboreas têm as raízes muito profundas, as *Gramineas* aproveitam os primeiros metros do solo e murcham definitivamente no apogeu da época seca, quando estas camadas não têm mais agua aproveitavel para elas. Um 3.º grupo de vegetais aparece nestes campos só na época de chuva, permanecendo, du-

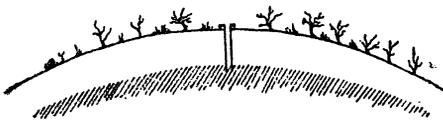


Fig. 40 — Esquema do poço estudado em Emas, no cume de um espigão, coberto de campo cerrado. Parte achuriada = lençol subterrâneo de agua .

rante a época seca, quasi invisíveis, com órgãos subterrâneos como rizomas, bulbos e os "xylopodios" conhecidos desde *Lindman* (58). Os campos cerrados são consideradas as regiões mais secas do Brasil meridional. Estudos sobre o seu regime de agua são por isso indicados para esclarecer até que grau a agua nos solos pode se tornar um fator limitante.

Os dois poços por nós abertos encontram-se no cume de um espigão, como mostra o croquis (fig. 40). Assim, temos a certeza de que a agua encontrada não pode ser aduzida de outros lugares: é a agua das chuvas armazenada no local. A nossa excava-

ção permitiu-nos 1) a constatação da profundidade do lençol subterrâneo e, como o poço fica sob observação, podemos acompanhar as flutuações do nível durante as estações do ano. O exame das camadas subjacentes nos fornece 2) indicações sobre o teor da água no solo, na data da abertura do poço. Para obter dados análogos em outras épocas do ano foi preciso fazer novas excavações, pois tais dados devem ser obtidos cada vez em aberturas novas. Quando não se trata de profundidades grandes, poderiam servir os perfuradores usados na Pedologia; como no nosso caso também se impoz o estudo de raízes, preferimos recorrer a excavações mais amplas. Com isso já tocamos no 3.º grupo de informações que devemos colher com as perfurações: o estudo das raízes. Durante a abertura do poço, separamos de cada nível as raízes cujo estudo posteriormente pode permitir — é verdade, algumas vezes com grande dificuldade — a identificação das espécies às quais pertencem.

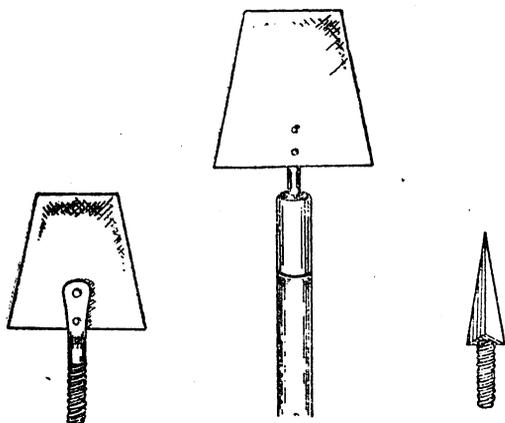


Fig. 41 — Extremidade de uma bengala munida de uma pá que pode ser removida e substituída por uma ponta.

Além disso sempre será necessário excavar com muito cuidado as raízes das plantas estudadas, nos primeiros metros. As raízes são quebradiças, de modo que um operário as destruiria. Só pode ser encarregado de abrir uma cova preliminar. O pesquisador deve ultimar o trabalho de preparação, usando com proveito uma pequena cavadeira bem afiada que pode ser parafusada a uma bengala, como mostra a fig. 41. Só isso nos dará o quadro do comportamento e da biologia da parte subterrânea da vegetação.

Os resultados nos dão um perfil como o da fig. 42. As excavações mostraram a água subterrânea a uma profundidade de cerca de 17 metros. As camadas acima possuíam as quantidades de ar e água, indicadas na fig. 42, em porcentagem volumétrica. Até na região do lençol subterrâneo o ar não desapareceu perfeitamente — o que seria de supor dentro do lençol, — pois, no momento da excavação a água ainda não enche a cova até o nível definitivo do lençol ¹⁾. Os valores de água parecem pequenos só

¹⁾ Sobre a lentidão do movimento lateral da água até dentro do nível do lençol subterrâneo, informa-nos Meinzer, citado á p. 96.

no 1.º metro. A época da seca, em Julho, ainda está no seu início. De 3 m. em diante temos valores relativamente altos contínuos,

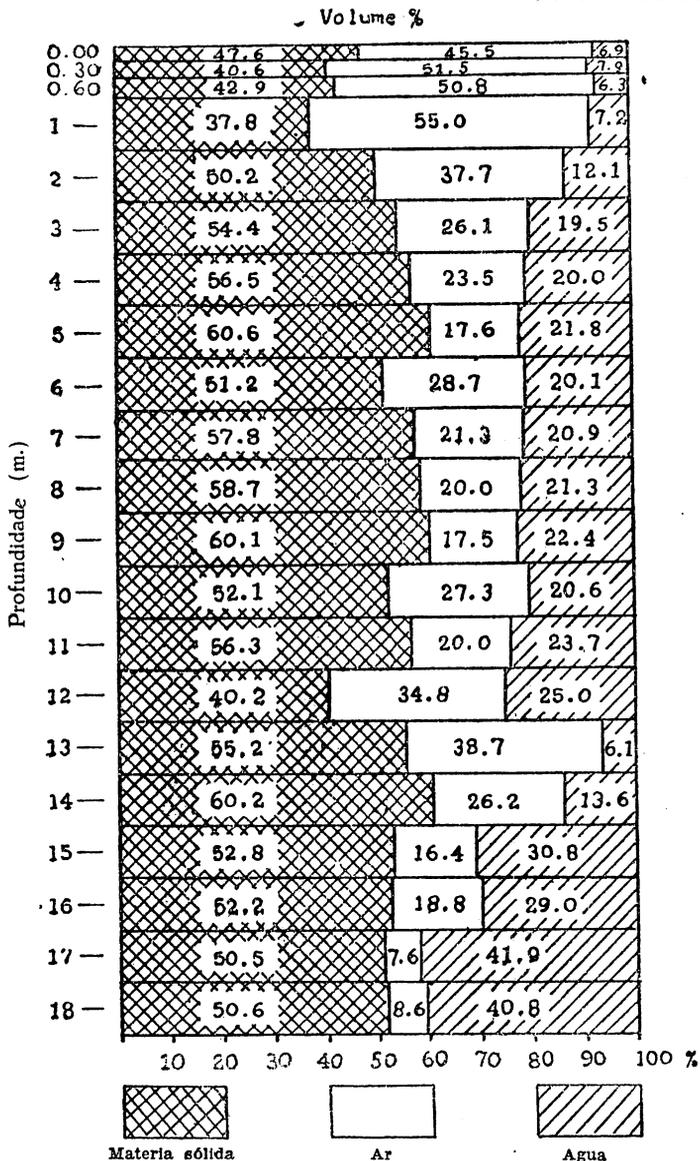


Fig. 42 — Perfil do solo no poço de Emas, mostrando a distribuição de água, ar e substância sólida em % do volume.

com uma única interrupção entre 13 e 14 metros, onde se encontrou uma camada puramente arenosa que, como sabemos, retém

muito menos agua do que as outras camadas, que são argilosas. Tais camadas observam-se frequentemente nas proximidades do nível mais alto que o lençol subterraneo pode atingir e podem ser uma consequencia disso. Daí para baixo o conteúdo de agua torna-se muito grande.

Deste esquema podemos tirar uma conclusão muito interessante: a quantidade de agua existente (calculada para 1 m² de superficie), desde o primeiro metro cúbico mais superficial até a profundidade de 17 metros, proxima do lençol subterraneo, atinge o valor de 3.771 litros. Toda esta agua, encontrada no alto do espigão, provem das precipitações do lugar. As precipitações anuais da região podem ser avaliadas em 1200 mm. Isso quer dizer que, anualmente, são aduzidos a 1 m² de solo 1200 litros de agua. Se nenhuma gota dessa agua se perdesse por evaporação, transpiração ou escoamento, as precipitações de 3 anos seriam necessarias para proporcionar a esse reservatorio invisivel, o grau de humidade observado. Não contamos ainda o volume da agua do lençol subterraneo que se escoo em movimento não muito lento e cujo valor talvez pudesse ser calculado mediante observações fluviométricas do lugar. Não tomamos tambem em consideração as perdas anuais de agua por evaporação, que poderemos avaliar só quando dispuzermos de indicações sobre a transpiração das plantas e a evaporação do solo durante o ano.

Não entraremos em discussão sobre qual a parte higroscopica, qual a parte "osmótica" e qual a parte gravitativa, que constituem esta agua ¹⁾. Em todo o caso, existe sempre, acima do lençol subterraneo, agua gravitativa. No mesmo espigão, que se estende a grande distancia, existe, ainda no cume, mais um poço que serve a uma habitação. Deste poço é extraído diariamente 1 m³ de agua. Só em casos de seca extrema pode haver diminuição do volume de agua extraída, mas nunca foi observada falta completa. Isto quer dizer que sempre ha uma certa quantidade de agua gravitativa em movimento para baixo.

Sobre as variações na altura do nível deste lençol não possuímos ainda dados suficientes para a discussão. Os habitantes do interior, que conhecem bem os seus poços, muitas vezes informam que justamente na época seca a agua nos poços sobe. A explicação poderia ser que só então chega a agua das chuvas da época estival. Pode ser tambem que na época seca — quer dizer, para a maioria das regiões, durante o inverno — a vegetação tira menos agua do solo. Já vimos na 1.^a parte (p. 89) e vamos voltar ao caso (p. 121), que a vegetação exigente pode baixar o lençol subterraneo. Que a rétirada diaria de agua pela vegetação pode provocar oscilações diarias no nível do lençol foi especialmente

¹⁾ A incerteza dos métodos pedológicos nesse assunto, já salientada por nós, foi recentemente documentada por Terzaghi (116).

mostrado por *White* (134), que registrou um máximo diário nas horas matinais e um mínimo ao anoitecer.

As observações de *White* (134) são tão significativas, que reproduzimos, aqui, uma das figuras mais eloquentes deste Autor, representando as oscilações do nível do lençol subterrâneo de água, num Alfafal (*Medicago sativa*) de Escalante Valley, Utah, U. S. A. Trata-se de uma região semi-árida, cujas reservas de água, durante o verão, aos poucos são esgotadas para serem novamente enchidas na época do repouso das plantas, no inverno. A fig. 43 mostra um período durante a descida do nível, no mez de Agosto.

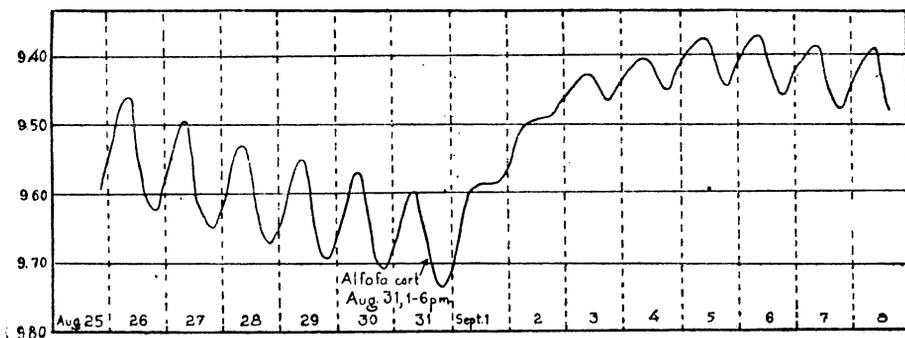


Fig. 43 — Oscilações diurnas do nível do lençol subterrâneo de água num alfafal de Escalante Valley. Depois do corte, em 31-8, desaparecem quasi por completo as oscilações e o lençol sobe (Seg. *White*, 134). (Profundidade em pés).

As oscilações diárias marcam descida durante o dia, e subida durante a noite. Nesta época as subidas noturnas, provocadas por afluxo de água subterrânea de terrenos adjacentes, não podem neutralizar as perdas do dia, resultando disso baixa geral do nível. Isso, porem, só aconteceu até o dia 31 de Agosto. Neste dia, á tarde, a Alfafa foi cortada: cessou a maior parte da transpiração, e com isso da absorção da água pelas raízes da plantação. Até 5 de Setembro o lençol subiu. Os primeiros dias depois do corte mostram oscilações pouco marcadas, e somente quando as plantas cortadas tinham restabelecido a sua folhagem, e com isso a sua transpiração, retomou a oscilação o seu vulto normal.

Assim, tambem no Brasil, a atividade da vegetação deve impor alterações periodicas ás reservas de água. Quando, porem, se trata de camadas tão espessas de solo, as influencias da absorção pelas raízes e do movimento da água gravitativa podem se superpor e uma interpretação exigirá observações extensas.

As variações do conteúdo de água durante as épocas do ano são muito importantes. Como os poucos dados para solos tropicais geralmente são dados em porcentagem relacionada ao peso seco do solo, damos os nossos valores da fig. 42, aqui, tambem em % do peso.

TABELA 32
 CONTEÚDO DE AGUA EM % DO PESO SECO
 Emas, 27-7-1942

Profundi- dade em m.	Agua em %	Profundi- dade em m.	Agua em %
0	5.7	8,00	14.3
0,30	7.7	9,00	14.7
0,60	5.8	10,00	15.5
1,00	7.5	11,00	16.6
2,00	9.5	12,00	24.5
3,00	14.0	13,00	4.4
4,00	14.0	14,00	8.9
5,00	14.1	15,00	23.0
6,00	15.1	16,00	21.9
7,00	14.3	17,00	32.7
		18,00	31.7

Desde 5 metros, as variações estacionais são pequenas, abrangendo talvez 3%. Nos primeiros metros as variações são grandes, como indica a tabela seguinte:

TABELA 33
 CONTEÚDO DE AGUA EM % DO PESO SECO EM DIVERSAS
 ÉPOCAS DO ANO EM EMAS

Profundi- dade em m.	23-6-42	27-7-42	18-3-43	22-6-43	27-8-43	1-9-43
0. m	5.5	5.7	5.7	—	6.5	—
0,30	6.0	7.7	11.8	8.9	7.3	6.5
0,60	8.4	5.8	14.8	7.9	7.0	6.7
1,00	9.4	7.5	14.6	7.2	7.9	7.3
1,50	9.9	—	—	8.5	8.8	8.4
2,00	13.0	9.5	17.0	—	10.0	—
2,50	—	—	—	—	10.6	—
3,00	13.6	14.0	18.7	—	11.8	—
4,00	—	14.0	17.6	—	—	—
5,00	16.0	14.1	16.7	—	—	—

A superfície, se não for examinada em dias de chuva, seca logo, apresentando então valores próximos a 6, o que se aproxima do valor da água higroscópica, que para os primeiros 10 m man-

tem-se entre 4 e 6% ¹⁾. Neste nível a evaporação direta do solo é importante. Desde 0,30 m. a evaporação deve ser suposta (vide pag. 95) como sendo só indireta, por meio das raízes. Todos os nossos valores são da época seca, com exceção dos obtidos em

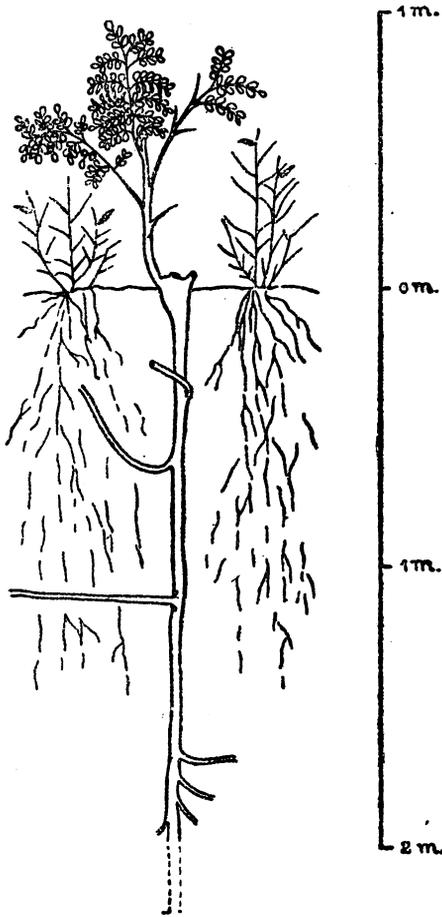


Fig. 44 — *Stryphnodendron Barbatimão*. Só com raízes grossas, sem raízes absorventes, nos primeiros 2 ms. do perfil. *Echinolaena inflexa*, *Gramínea*, cujas raízes absorventes enchem a camada de 0 até 1½ ms. Campos cerrados de Emas.

18-3-43, no fim da época chuvosa. Nesta, até o 1.º metro mostra valores altos que chegaram, apesar da atividade continua das raízes até quase 15%. No verão, ha muitas plantas com raízes pouco profundas, que absorvem ai a agua, mas esta agua logo é substituida pelas chuvas, então frequentes. Desde Maio começa o esgotamento paulatino das camadas superficiais; desaparece a maioria das plantas estivais, com exceção das *Gramíneas*, que continuam retirando os últimos restos da agua aproveitavel. Em 22-6-43 a grama mais frequente, *Echinolaena inflexa*, cujas raízes chegam até cerca de 1½ m, (Fig. 44) ainda mostrou transpiração forte, ao passo que em 1.º de Setembro o rico tapete de *Echinolaena* se apresentava seco e morto, com exceção de poucas folhas nas extremidades apicais, que ainda estavam turgescerentes e com os estômatos abertos. Isso indica que o limite da agua aproveitavel para esta planta deve ser suposto entre 6% e 8% nestas terras.

Mesmo no fim de Agosto, desde 2½ m, a terra apresentou-se nitidamente húmida, fornecendo sempre

1) Segundo determinações provisórias, ainda não publicadas, feitas por M. Rachid.

água às raízes que aí penetram. Como constatou nosso colaborador *Mario G. Ferri* (32), plantas permanentes, com as raízes mais profundas, mantêm a sua transpiração elevada durante todo o dia até nas épocas mais secas do ano.

Tais estudos salientam um fato muito importante: os campos cerrados estudados por nós, distinguem-se de estepes e savanas verdadeiras — com os quais geralmente são confundidos — por uma muito maior riqueza em água aproveitável. O aspecto árido, aí, só é superficial e aparente. Se não houvesse as queimadas anuais, a vegetação poderia se fechar mais densamente, a grande reserva de água aproveitável seria realmente aproveitada e os campos cerrados de hoje cederiam lugar a uma vegetação mais densa, cujo tipo final ou estado climax só poderá ser determinado por estudos ulteriores.

Pela grande profundidade dos solos são criadas, nos trópicos, condições bem especiais, até agora pouco consideradas na Ecologia. Estas particularidades se refletem também na organização dos sistemas radiculares das plantas. A existência de uma vasta reserva de água nas profundidades, torna compreensível a existência de raízes profundas. No poço de Emas encontramos raízes até dentro do lençol de água, raízes essas que só pertenciam a uma espécie: *Andira humilis* ¹⁾. A maioria das outras plantas, como as mencionadas na lista (pag. 101) contenta-se com profundidades menores, desde que entrem nas camadas sempre húmidas. Plantas que dependem do lençol subterrâneo da água, podem ser chamadas de “phreatophytas” (*Meinzer* 73). No nosso caso, onde, entre o lençol e a superfície que pode secar, se intercala espessura tão grande de terra húmida, o “phreatophytismo” nem sempre se torna muito nitido.

A existência de raízes tão profundas não surpreende. Que árvores são capazes de formar raízes de 20 metros, indica *Rotmistroff* (97) para *Robinia pseudoacacia*. Essa essência americana é cultivada, hoje em dia, nas estepes húngaras e russas, onde se trata do reflorestamento. Na abertura do Canal de Suez, encontraram-se raízes de *Tamarix*, ainda em profundidades maiores. O “arbusto dos camelos” (*Alhagi camelorum*), segundo os autores russos, alcança o lençol subterrâneo até em profundidade de 20 metros, mantendo por isso sempre fresca a sua folhagem. A Alfafa (*Medicago sativa*) é conhecida, desde a antiguidade, pela profundidade de suas raízes. Na Argentina, segundo informação verbal do *Dr. A. Boerger*, atingem o lençol subterrâneo até a 20 m, podendo então esgotar a água até o declínio da cultura. *Meinzer* (73) cita profundidades até maiores.

Segundo informações que foram colhidas para nós por *R. Gebara*, em Avaré, raízes de árvores como a Cabreuva (*Myrocarpus*

¹⁾ A classificação exata encontra dificuldades sendo pouco segura a distinção entre *A. humilis* e *laurifolia* (vide nossa apresentação 93).

frondosus) e a Peroba (*Aspidosperma polyneuron*) são encontradas em profundidades de 13 metros, o que as aproxima do lençol subterrâneo, aí existente. Em todo o caso, onde ha água subterrânea a menos de 20 metros, sempre haverá possibilidade para certas árvores de aproveitarem essas reservas. Uma condição é um solo relativamente arejado que permita a respiração das raízes, condição essa realizada no caso de Emas, como se vê na proporção de ar indicada no perfil, p. 103. Não sendo assim, a existência de raízes como as observadas por nós em maiores profundidades estaria comprometida.

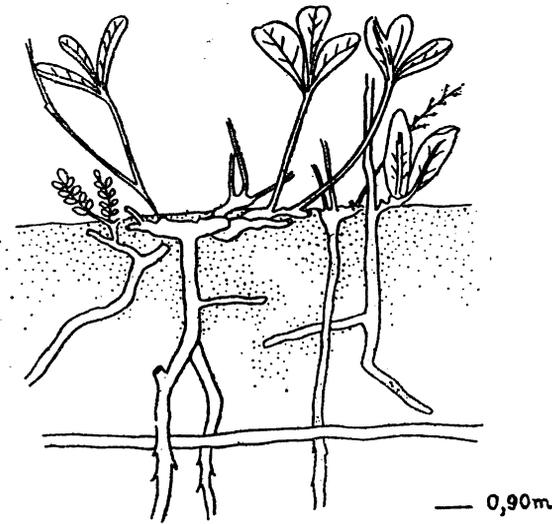


Fig. 45 — Perfil de solo em campo cerrado, mostrando a grande quantidade de raízes armazenadoras. As plantas são, da esquerda para a direita, *Andira humilis*, *Anona dioica*, *Stryphnodendron Barbatimão*, *Kielmeyera coriacea*; a raiz horizontal é de um *Machaerium acutifolium* visinho.

Tambem a existência de 1 ou 2 m de superfície que se podem tornar tão secos provoca certas adaptações. As plantas que procuram a água nas profundidades, muitas vezes, nos primeiros metros não formam ou formam poucas raízes absorventes, enchendo, porém, estas camadas com um retículo denso de raízes grossas de armazenagem. A Fig. 45 mostra uma cova aberta com os cuidados mencionados na p. 102. As raízes grossas que se vêm são muito quebradiças, embora protegidas por uma cortiça não muito grossa e con-

têm muita água (*Andira* 73 %) e muito amido. Também em outras regiões foi observado que entre o sistema absorvente de raízes profundas e os brotos superficiais se intercalam sistemas radiculares que só servem para condução, como foi evidenciado especialmente para certas plantas norte-americanas por *Needrow* (84). A existência de sistemas reticulares horizontais de raízes, tão frequente em nossos campos cerrados, encontra o seu paralelo, embora em escala menor, em *Convolvulus arvensis*, que infesta os campos norte-americanos (*Frazier*, 33) e cujas raízes la-

terais em 3 anos já atingiram a extensão de 5 a 6 metros produzindo, de distancia em distancia, raizes verticais até de quasi 8 m.

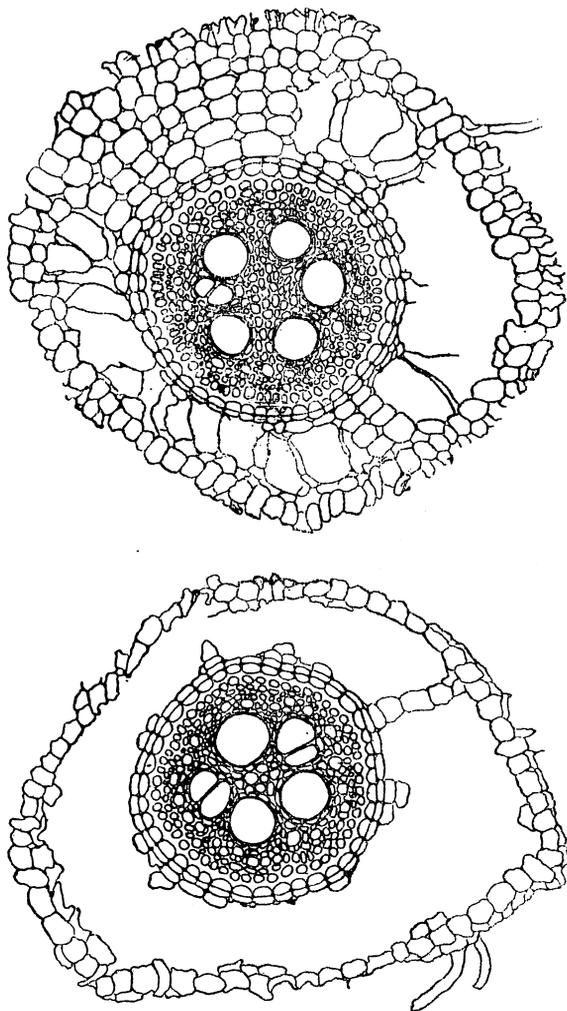


Fig. 46 — Corte transversal de duas raizes de *Panicum spectabile*. A de cima, mais nova, mostra o começo da decomposição do parenquima cortical; a de baixo, num estado mais adiantado, ficando o cylindro central numa bainha ôca, isoladora.

Diferentes são as adaptações das plantas que não atingem as camadas profundas. As que se escondem durante a estação

seca permanecem em forma de xilopodios (já mencionados). As *Gramineas*, que esgotam até a última porção de água acessível durante a seca, possuem um meio de proteção muito interessante, já indicado por *Goossens* (citado por *Walter*, 125) para a África do Sul. O parênquima em torno do cilindro central torna-se lacunoso; as pontes de ligação aos poucos morrem; as lacunas confluem e, finalmente, fica só uma bainha ôca cheia de ar, que isola o cilindro central. Como este caso é muito frequente nas *Gramineas* brasileiras, ilustramo-lo com a fig. 46 que apresenta o “Capim Fino”, *Panicum spectabile*, planta que até não é muito adaptada á seca. *Echinolaena* e *Tristachya* dos campos cerrados formam bainhas idênticas. Nelas, porem, a parte externa do cilindro central é mais esclerosada, como mostra a Fig. 47. Isso se compreende: a bainha não resiste, por muito tempo, cabendo a proteção ulterior á parte externa do proprio cilindro central.

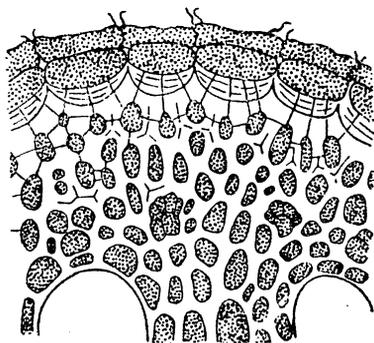


Fig. 47 — *Echinolaena inflexa*; a parte do cilindro central mostrando a grande esclerosação das camadas subjacentes á endoderme. As células desta e as exteriores são mortas,

Uma seca tão grande da superfície naturalmente não ocorre em regiões sombreadas, mas em campos, sejam estes naturais ou artificiais. Plantas que querem ocupar lugares despídos de vegetação têm que se haver com as dificuldades mencionadas. Conhecidos são os casos de Palmeiras, como a Indaiá (*Attalea humilis*), cujo caule, ao germinar, cresce primeiro para baixo, construindo um sistema denso de raízes fortes, mais ou menos verticais. A *Araucaria Bidwillii*, ao germinar, forma primeiro um bulbo subterrâneo, comparavel a um xilopodio.

Seria interessante se tivéssemos dados sobre a rapidez da penetração das raízes de árvores durante o 1.º ano. Segundo *Coster* (citado por *Huber*, 44), a árvore *Tectona*, o “Teak” afamado das Indias, atinge no ano da germinação 4 a 5 metros. Da Alfafa sabemos que profundidades de 4 metros podem ser atingidas na primeira estação (*Meinzer*, 73). Quão desejáveis são tais dados para toda a nossa agri e silvicultura, não precisa ser salientado.

O reservatório invisível de água. — No caso apresentado por nós para Emas, observamos a existencia de um reservatorio invisível de água subterranea. Este caso não constitue uma exceção.

Em extensões muito vastas do Brasil meridional, a água gravitativa se acumula em profundidades não muito grandes em for-

ma de um lençol subterrâneo, de modo a poder ser alcançada pelas raízes.

Sobre isso, temos informações extensas porque as populações rurais, muitas vezes, tiram a água que necessitam do lençol subterrâneo, por meio de poços. *Loefgren* (59) que já notara a importância do fato, indicou 45 até 60 palmos (1 palmo = 22 cms.) de profundidade para a água subterrânea encontrada em poços de Batatais, o que equivale a uma profundidade de 10 a 13 metros. Em Alto Alegre, também no Estado de São Paulo, menciona 60 até 80 palmos, o que colocaria o lençol subterrâneo na proximidade de 18 m. de profundidade. Valores parecidos nos foram indicados para Avaré, onde a média das profundidades será de 13 até 15 metros, existindo poços também de 20 metros. Isso concorda com observações nossas em Buri, ainda no Estado de São Paulo, e nas proximidades de Rolândia, no Norte do Paraná, onde geralmente um lençol contínuo se encontra em profundidade de 10 a 20 metros. Vê-se que a existência de um lençol subterrâneo a menos de 20 metros de profundidade aí é a regra.

Até no Nordeste seco do Brasil forma-se um lençol, conhecido especialmente pelos estudos de *Waring* (126), *Crandall* (25), *Small* (109, 110) e *Sopper* (111, 112). Muitas vezes, trata-se de terras derivadas da decomposição de granitos e gneiss; decompostas, estas rochas deixam passar a água que finalmente se represa quando atinge os horizontes ainda não atacados. Tal rocha viva foi encontrada já a 5 metros, como na Serra de São Miguel, ou só a 35 ou 36 metros, como na região de Feira de Santana da Baía. Só quando as camadas subjacentes são constituídas por formações permeáveis como arenitos, esta água escoar para profundidades maiores.

A água que forma tais lençóis é a água de chuva, acumulada e represada no sub-solo. Isto é o que evidenciam os casos em que os poços se encontram nos cumes de espigões — casos aliás frequentes, o que nos parece significativo — e onde não pode haver afluência, o que perturbaria e complicaria o caso.

Além do poço mencionado de Emas, o Autor tem em observação outros poços de posição idêntica, no alto de espigões, no Estado de S. Paulo e do Paraná. Representam por assim dizer, uma sonda que na época seca nos informa sobre a permanência das águas de chuva de verão.

A existência deste reservatório e a grande importância dos nossos solos espessos reflete-se também nos dados hidrográficos. Comparando-se, por exemplo, a periodicidade anual do nível do rio Paraíba, podemos ver que a quantidade mínima, transportada na estação seca, cai cerca de 1 mês mais tarde do que o mínimo das chuvas das regiões respectivas. E o mesmo atraso se observa com o nível mais alto. Se uma parte deste atraso pode ser atribuída ao tempo necessário para o movimento do rio — que, en-

tretanto, segundo *M. Torres* (66) não ultrapassa 3 semanas para todo o percurso, na época das cheias — o fenômeno observado em todas as estações indica claramente que a água das chuvas não vai diretamente para o rio, mas boa parte dela é armazenada e retida no solo. Esta água gravitativa, lenta mas continuamente, atravessa as camadas indicadas no nosso perfil. Nos Estados do centro e do sul do Brasil, os rios e riachos nunca deixam de correr, mesmo depois de secas prolongadas. Isto quer dizer que a água gravitativa continua ainda a descer. As tabelas e os gráficos do trabalho de *M. Torres*, do qual reproduzimos a fig. 48, mostram ainda (l.c., parte 1, desenhos 10 a 16) nitidamente que as chuvas de inverno e as primeiras precipitações de outono não fazem em geral subir o nível dos rios; esta água acumula-se no solo.

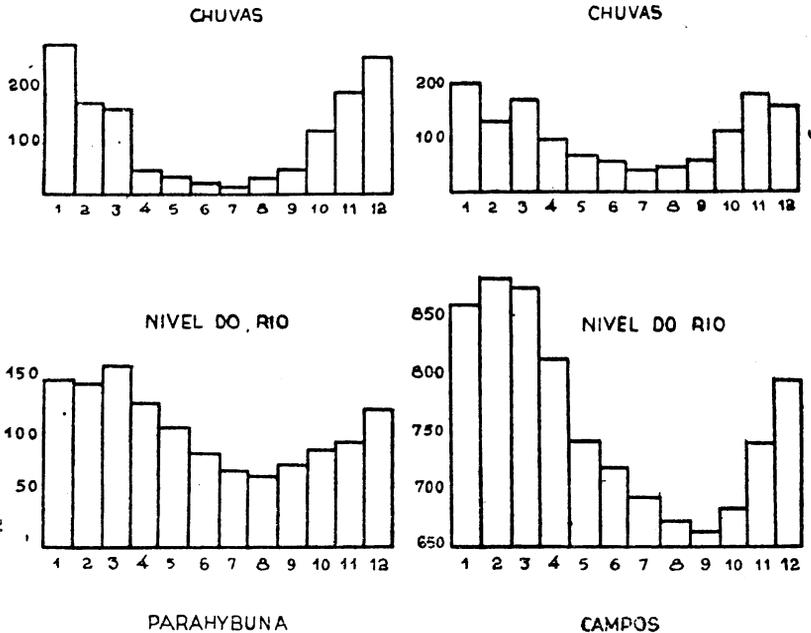


Fig. 48 — Chuvas e nível do rio — em medias mensais de 10 anos — em duas estações do rio Paraíba: Paraibuna, no curso superior e Campos, na desembocadura (Seg. dados de Magarinos Torres, 66).

No Nordeste seco do Brasil, o caso é bem diferente. *Waring* (126) confronta em varios gráficos ilustrativos, as precipitações e as descargas dos rios, aí intermitentes. No gráfico (fig. 49) tirado de seu trabalho, vemos como, por exemplo, o rio Piranhas em S. José (entre Cajazeiras e Triunfo) sobe quasi instantaneamente com as chuvas. Lá, como descrevem os autores, especialmente *O.*

Weber (cit. em *Crandall*, 25, pag. 50 e segs.), de ordinario as primeiras chuvas de Janeiro não penetram “na terra dura e ressequida pela seca prolongada, passando toda a agua por sobre ela e ajuntando-se nos lugares baixos”. Uma vez molhada a terra, as precipitações entram nela, não sendo mais arrastadas imediatamente para os rios. Então, acontece que uma chuva relativamente forte, como a representada no fim do gráfico, não entra de todo no sistema fluvial.

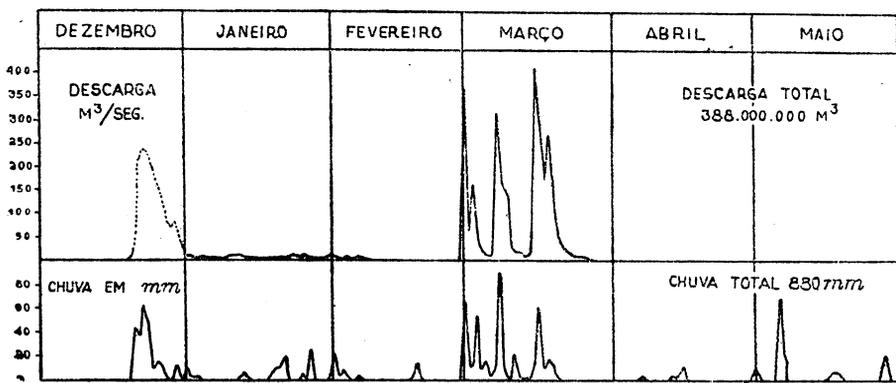


Fig. 49 — Descargas e chuvas, observadas em S. José, no vale do rio Piranhas, em 1910-1911. Seg. *Waring*, (126).

O papel regulador das camadas espessas do solo, que acabamos de apresentar, pode ser comparado á influencia das florestas, especialmente quando estas — como no caso de climas temperados — se encontram sobre solos pouco profundos. No nosso país a regulação é realizada pelos solos tambem na ausencia de florestas, sendo de valor inestimavel para todo o regime dagua.

Com todas estas observações queremos só chamar a atenção para o importante papel dessas camadas profundas de terra. Não resta dúvida que estas deveriam ser analisadas detalhadamente por pedólogos competentes, especialmente em relação á capacidade de retenção dagua, ás forças de sucção desenvolvidas e ás variações durante as estações do ano. Aqui, o que importa é só a demonstração da existencia de grandes reservas dagua, que, sem dúvida, não podem ser esgotadas durante os meses secos de um ano. E' claro que a seca deve influenciar os solos de maneira diferente, segundo o clima das estações respectivas, variando com os anos. Muito influe tambem a natureza dos solos. Tudo isso deverá ser esclarecido por estudos ulteriores.

Solos em climas húmidos e áridos. — O desenvolvimento dos solos depende grandemente das direções do movimento dagua no seu interior. Distinguem-se, geralmente, os do tipo “húmido” e

os do tipo “árido”, prevalecendo, no primeiro grupo, o movimento descendente da água, no outro o ascendente (Fig. 50).

O primeiro tipo é fácil de caracterizar. Todas as regiões, onde as precipitações excedem a evaporação possível dos solos, inclusive a transpiração da vegetação, pertencem ao tipo húmido. Sempre ha um excesso dagua, que pode formar um lençol subterraneo e que afinal de contas é conduzido por rios e riachos até o mar, a não ser que seja interceptado.

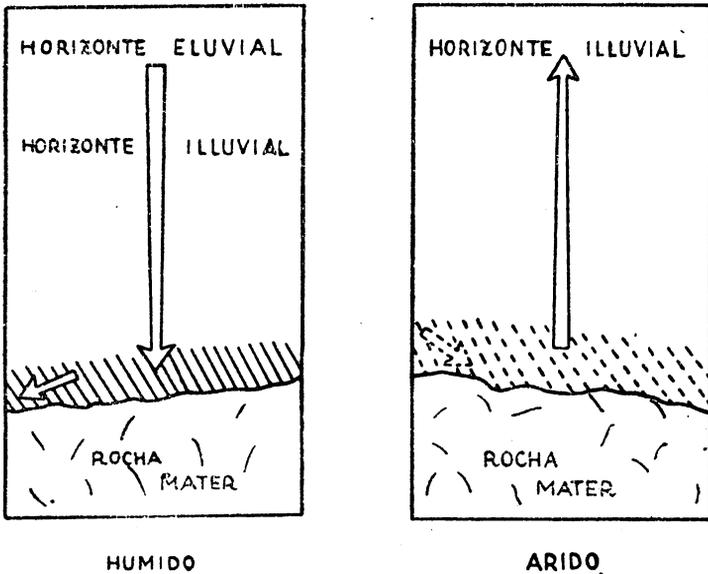


Fig. 50 — Perfis esquematicos de solo, em clima humido e arido, mostrando o movimento da agua, entre a superficie e a rocha mater. Parte achuriada = lençol subterraneo que, no caso de clima arido, só se forma excepcionalmente.

Os climas do tipo árido, ao contrario, seriam aqueles, em que a evaporação é tão forte, que pode consumir tanta agua quanta for precipitada e até mais. Embora a evaporação nunca possa abranger mais agua do que a que o solo recebe, a evaporação pode alcançar valores superiores á precipitação em regiões secas, que recebem agua de outras, mais abastecidas, como acontece no Egipto com as aguas trazidas pelo Nilo, ou na Argelia, onde aguas, muitas vezes subterraneas, correm das serras húmidas do Atlas até os oasis do deserto. Muitas vezes a irrigação artificial, conhecida já em tempos muito remotos, abriu tais regiões fertilissimas á cultura humana, como por ex. no Egipto, na Mesopotamia, na Persia e no Perú (Fig. 53, pag. 125).

Em regiões húmidas os rios drenam o solo; o lençol subterrâneo tem por isso seu nível mais alto á distancia do rio ou correço. Em regiões áridas, onde correm rios, estes irrigam o solo. O lençol subterrâneo só existe na sua proximidade; á maior distancia, baixa até desaparecer completamente (Fig. 51).

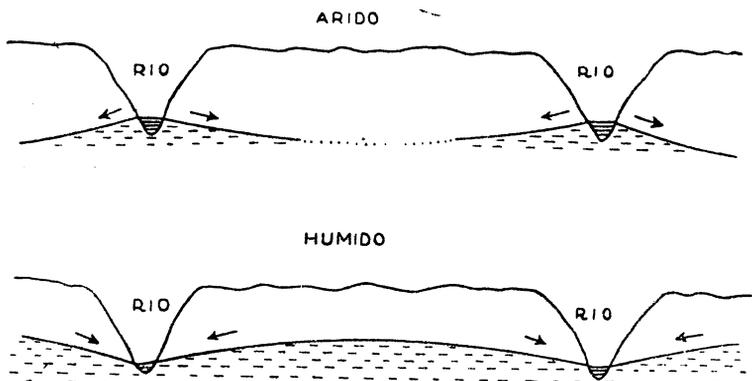


Fig. 51 — Comportamento do lençol subterrâneo em regiões áridas e húmidas; muito esquematizado.

Onde faltam tais afluições nas regiões áridas, não pode haver água subterrânea, o que, por isso no nosso esquema da Fig. 50 foi indicado em pontilhado. Um movimento de água para cima então só pode existir onde houver em certas épocas um movimento contrario de cima para baixo. Tal esquema refere-se por conseguinte, especialmente, ás regiões “semi-áridas” que recebem durante uma época chuvosa uma certa reserva de água que evapora durante a época seca. Este, entre outros, é o caso do Nordeste do Brasil, cujos rios, na época chuvosa são bem abastecidos, ao passo que secam com regularidade na época seca. Existe água gravitativa e escoamento do excesso e movimento geral descendente numa época do ano, ao passo que noutra falta escoamento e prevalece o movimento ascendente.

Talvez fosse mais facil distinguir as terras áridas e húmidas pelo prevalectimento ou falta de tal movimento ascendente. A definição muito usada do clima árido “onde o solo pode evaporar mais água do que a que a terra recebe” é pouco segura. A evaporação da terra é um fator muito variavel e incerto, dependendo do proprio estado de humidecimento da superficie e especialmente da transpiração vegetal (Vide “dry-farming”, p. 120).

O movimento ascendente das profundidades da terra para a superficie em estado de dessecamento é causado pelas forças osmóticas e elétricas já caracterisadas á p. 89. A propria capillaridade é só um caso especial e pode ser incluída entre estes fenô-

menos. Em capilares fechados, a água, porém, só pode subir de um lençol subterrâneo de água e, como expõe detalhadamente *Vageler* (120), abrangendo geralmente um espaço de poucos decímetros até, raramente, mais do que um metro. O resto do caminho a água percorre como água atraída e retida pelos enxames de cations na superfície das partículas. Outra parte da água move-se como vapor dentro dos poros. O mais importante, porém, é o movimento da água em estado líquido, formando uma solução que se concentra cada vez mais até a superfície. Assim se explicam as precipitações de laterite na superfície ou as eflorescências de sais tão conhecidas em desertos, como no Egito e no Chile. Neste caso temos o horizonte iluvial acima de horizontes que, pelo menos em parte, são eluviais.

Eflorescências salinas não faltam no nordeste seco do Brasil, aparecendo especialmente na época seca (Vide *L. J. de Moraes*, 81 e *G. M. de Araujo Oliveira*, 85). Formações de laterite provavelmente representam as "Cangas" na superfície da terra em Minas Gerais, descritas com sua vegetação característica por *Mello Barreto* (76).

Em climas sempre húmidos ou nas estações em que prevalece o movimento descendente da água, encontramos o caso já caracterizado á pag. 80. As camadas superficiais são lavadas. Pode se formar um horizonte iluvial a certa profundidade, no ponto isoeletrico para os minerais preponderantes em solução coloidal. A eluvião, porém, continua até por baixo deste horizonte; as substâncias lavadas são arrastadas para o lençol subterrâneo e pelo escoamento são transportadas pelos rios para outras regiões. Ha casos como no Nordeste do Brasil, onde a água subterrânea é tão salgada que não serve como bebida para o gado. Nos Estados meridionais do Brasil a grande reserva d'agua que existe nas espessas camadas do solo geralmente é boa e constitue uma das maiores riquezas do país. Deve, entretanto, conter ainda uma boa quantidade dos valiosos cations que continuamente são levados para os rios.

A lavagem continua constitue um fator empobrecedor importante das terras. Se as baixadas adubadas por inundações regulares dos rios são férteis, os adubos que depositam provêm de outros lugares lavados e que deles foram roubados. Se o Nilo fertiliza suas margens no Egito, suas nascentes tiraram a riqueza dos planaltos da alta Abissínia. Quão grandes são as quantidades anualmente transportadas pelo rio Amazonas foi mencionado á pag. 86.

Em geral podemos estabelecer que quanto maior a lavagem, maior a infertilidade. Os solos do tipo semi-árido ao contrario, costumam ser férteis, suposto que não haja o extremo da formação de horizontes lateríticos ou eflorescência de sais. Tudo o que aumenta a lavagem serve para empobrecer o paiz; tudo o que

a diminuir favorece a manutenção da fertilidade. Nisso existe um grande papel das florestas que raramente é mencionado. Sublinhamos geralmente a grande utilidade das florestas no combate à erosão. Mencionamos às vezes o papel protetor das florestas contra o vento e a poeira. Papel importante porém a floresta desempenha no quimismo dos solos.

Vimos na pg. 89 da I.^a parte que as florestas baixam o lençol subterrâneo e diminuem o escoamento. Decrescendo a lavagem conservam-se mais ions trocáveis na terra. Da-se mais do que isso: as raízes que são encontradas em todas as profundidades tiram daí os sais, que ainda existem. Estes sobem na seiva ascendente até a copa. No folhêdo voltam à superfície e a água em conjunto com a atividade da fauna do solo florestal os mistura em toda a parte. Contrário ao que figura *Vageler* na prancha 1 (123), no solo da floresta virgem ha pouca estratificação: é homogêneo e poroso.

Sua grande fertilidade é conhecida. Explica-se, não porque as florestas virgens se encontrem em regiões com boa terra; a terra é boa porque se encontra na floresta.

A observação de que solos com pouca vegetação são mais lixiviados do que os com vegetação rica não data de hoje. Desde as primeiras experiencias com lisímetros, feitas em 1857 por *Zoeller*, já o sabemos, como se depreende do artigo interessante de *Jacob* (46). O empobrecimento dos solos de culturas, muitas vezes não deriva só da colheita, mas também da maior facilidade do escoamento. As observações feitas em nossos cafezais também documentam este fato.

Apresentamos as tabelas 34 e 35 que contêm valores obtidos em Campinas por *Bolliger* e apresentados pelo relatório anual de *Vageler* (121). A primeira apresenta os valores de humus, dos elementos mais importantes e do valor pH numa floresta virgem, ao passo que a segunda dá os valores relativos á mesma terra, depois de 22 anos de cultura de café. A grande diminuição de todas as substancias esclarece bem a influencia da lixiviação. A colheita só pode ser responsavel por uma pequena parte desse empobrecimento. Se pudessemos comparar, em condições idênticas, uma floresta virgem e um campo cerrado resultante da derrubada e de subseqüentes queimas, poderíamos documentar tudo isso com maior nitidez. Interessante é também a transição da reação neutra ou quasi neutra da mata, para a do cafesal que é ácida. A floresta, em ação contraria á lixiviação, traz á superfície grandes quantidades de sais que neutralizam a terra. Por isso, observamos na tabela 34, nas primeiras camadas, não só maior quantidade de humus mas também uma reação menos ácida na superfície.

Como já dissemos, florestas verdadeiramente virgens apresentarão pouca estratificação, porque a atividade não só das raízes, mas também da fauna, se opõe a isto, misturando e revolvendo

TABELA 34 ¹⁾TERRA ROXA COM MATA VIRGEM, seg. *Bolliger*. ap. *Vageler*. (121)

Profundidade do solo (cm)	Humus Ton. por Hect.	N.	P.	Na	K.	Mg	Ca	Valor pH
0-30	172	669.8	249.5	61.5	39.3	144.0	586.5	7.0
30-60	48	175.5	160.9	60.3	54.3	145.8	525.9	7.0
60-90	16	85.6	178.6	60.0	57.0	138.0	555.0	6.4
90-120	16	64.2	196.4	70.2	73.5	167.1	582.0	6.4
Total....	252	995.1	785.4	252.0	224.1	594.9	2249.4	

TABELA 35 ¹⁾A MESMA TERRA DA TABELA ANTERIOR, APÓS 22 ANOS DE CULTURA DE CAFÉ, seg. *Bolliger*. ap. *Vageler*. (121)

Profundidade do solo (cm)	Humus Ton. por Hect.	N.	P.	Na.	K.	Mg	Ca	Valor pH
0-30	42	184.0	116.5	13.5	5.1	26.4	99.3	5.4
30-60	48	128.4	126.7	8.1	4.5	22.5	123.0	5.7
60-90	36	111.3	126.7	10.0	3.3	19.8	138.0	5.8
90-120	27	74.9	126.7	10.5	3.6	25.5	88.5	5.9
Total....	153	498.6	496.6	42.1	16.5	94.2	447.8	

¹⁾ A indicação dos sais é feita em quilo-equivalentes dos seus ions ativos por unidade de volume de terra. Um mili-equivalente corresponde ao número de mgs. por 100 cm³. Um quilo-equivalente indica a mesma porcentagem calculada para a superfície de 1 hectare e uma profundidade de 1 cm. Os mgs por 100 cm³ são convertidos agora em kgs correspondendo à 10000 m² × 0,01 m, ou 100 m³ de solo. No cálculo toma-se em consideração a valência dos elementos. (Vide a explicação de J. Setzer, 104).

continuamente as camadas. Como este movimento deve alcançar as camadas mais profundas da rizosfera, um solo florestal, em contacto com rochas ricas, como as diabásicas, conservará toda a sua fertilidade. Mas, também em solos diferentes, a floresta sempre vai manter um nível relativamente alto de fertilidade. Reflorestada, uma terra cansada vai recuperar, ao menos parcialmente, as suas boas qualidades.

A fertilidade dos solos florestais, naturalmente, é influenciada também pelo substrato geológico sobre o qual repousam. Ha florestas pobres, sobre arenitos e outras camadas magras, com nenhuma possibilidade de chegar á grande fertilidade.

Maack (65), descrevendo as florestas de carater pluvial-tropical que revestem os planaltos no oeste do Estado de Paraná, entre os rios Paranapanema e Piquiri, constata que as matas são menos exuberantes na região arenosa (sobre arenitos) do que por cima do solo de decomposição das rochas eruptivas, da terra roxa. "A mata é menos exuberante na região arenosa; faltam especialmente as palmeiras *Euterpe edulis*, típicas na terra forte (terra roxa) na floresta pluvial-tropical do Norte do Paraná, bem como as Figueiras brancas, Pau d'Alho e semelhantes árvores dos solos férteis da terra roxa. Em vez disto encontra-se *Cocos Romanzoffiana Cham.* como representante mais notável das palmeiras, e nos matagais cresce a Taquara (*Bambusa Tagoara Nees.*), a qual é típica nos pinhais (mata de Araucarias) como matas mesofíticas. Em toda parte pude observar que o limite da formidável floresta pluvial-tropical, com os palmitais cerrados da *Euterpe*, contra o mato menos exuberante sem *Euterpe*, coincidia quasi exatamente com a divisa da ocorrência do arenito".

Derrubada a floresta, a riqueza exuberante do solo permanecerá até certo tempo que varia segundo as condições, mas especialmente com o tratamento ulterior. Se o solo aparentemente pobre tem, a uma profundidade não demasiada, reservas minerais, então o reflorestamento adequado será o melhor método para revalorizar a terra.

Cultura sêca (dry farming). — As relações mutuas entre a vegetação e o regime de agua, e o significado do conceito de regiões húmidas e áridas, são muito bem caracterizadas pela cultura seca ou "dry-farming". Este afamado método repousa sobre a utilização das reservas de agua. Em regiões onde as precipitações anuais não são suficientes para garantir anualmente uma colheita de plantas cultivadas, especialmente de cereais, procede-se á cultura com intervalos de dois ou até de mais anos.

Supondo que as raízes do cereal tenham esgotado, até a época da colheita do outono, todas as reservas de agua aproveitável na rizosfera, as chuvas ou a neve derretida vão formar, até a primavera, uma nova reserva. Nas regiões em questão, essa reserva não será suficiente, em media, para a nova cultura do ano. Trata-se,

por isso, de acumular mais uma ou varias reservas de outros anos. Para consegui-lo, no primeiro ano não se semeia e trata-se de manter o solo fofo e livre de qualquer vegetação que possa usar a reserva existente.

Já sabemos que uma camada superficial seca da terra, especialmente quando mantida fôfa, é uma proteção eficaz contra a evaporação. Assim, as chuvas ou neves do inverno seguinte vão aumentar a reserva já existente e agora a cultura desejada terá sucesso. Tais metodos, já conhecidos na antiguidade, aplicam-se em medida crescente desde a mecanisação da lavoura, permitindo abrir á cultura regiões cada vez mais secas.

Se dissemos (pag. 115) que uma definição e delimitação nítida de regiões áridas encontra dificuldades — por ser a evaporação um fator que varia, especialmente com a vegetação — temos aqui uma documentação deste fato. Os lugares em que se aplica o “dry-farming” pertencem ao tipo árido quando têm vegetação, porque podem evaporar e evaporam de fato mais agua do que recebem. No estado não cultivado e despido de plantas pertencem, entretanto, ao tipo húmido: evaporam menos agua e armazenam o resto formando uma reserva subterranea!

As queimas que anualmente devastam o interior do Brasil assemelham-se, nas suas consequencias, aos efeitos da cultura seca; inibem o desenvolvimento de uma vegetação espontanea ou cultivada mais densa, diminuindo, assim, a evaporação.

As consequencias bemfazejas da queima, invocadas pelos lavradores, não podem ser de todo negadas. Destruindo, no apogeu da seca, as partes superficiais, especialmente de *Gramineas*, extinguem os últimos restos de absorção realizada por esta vegetação. O desabrochar primaveril de brotos novos e tenros, sem dúvida, será facilitado.

A influencia contraria de matas e campos, sobre o regime de agua, é salientada, entre nós, com toda a clareza, na apresentação interessante de *A. da Silveira* (108). A esse observador excelente não escapou a significação do fato de que no Estado de Minas, na região do rio Doce, onde ha florestas, os rios “cortam”, ficando sem agua durante a época seca. Em regiões idênticas, onde as florestas foram derrubadas, portanto em campos, os rios correm sem interrupção. Nas florestas, o mesmo clima deveria ser chamado de semi-árido; nos campos, de húmido.

A Fig. 52 apresenta o regime de agua que deve prevalecer, em condições climatéricas iguais, em campos e em florestas. Nestas, a absorção da agua subterranea e a transpiração serão maiores (como indicam as setas) do que nos campos. A agua de escoamento, ao contrario, e com isso a lixiviação, são maiores nos campos.

d) — A EROSIÃO DOS SOLOS

Nas páginas anteriores tínhamos observado o quanto a lixiviação dos solos é aumentada pela influencia do homem. Diminuindo a densidade da vegetação, por derrubadas, queimas, pastagens ou qualquer outra interferencia de cultura ou incultura, diminuimos a transpiração, aumentando a parte de agua de escoamento. Esta exerce não só uma dissolução química, como também arrasta materias sólidas: primeiramente particulas coloidais e depois fragmentos maiores; torna-se, portanto, uma erosão.

Se a erosão constitue um perigo grave para as nossas terras; temos que considerar que este perigo, na maioria dos casos, é provocado só pela influencia humana. Como para a lixiviação demasiada, também para a erosão — pelo menos a que é provocada pelas chuvas — podemos constatar que só se torna forte em casos de precipitações maiores. Estas, por sua vez, em regiões

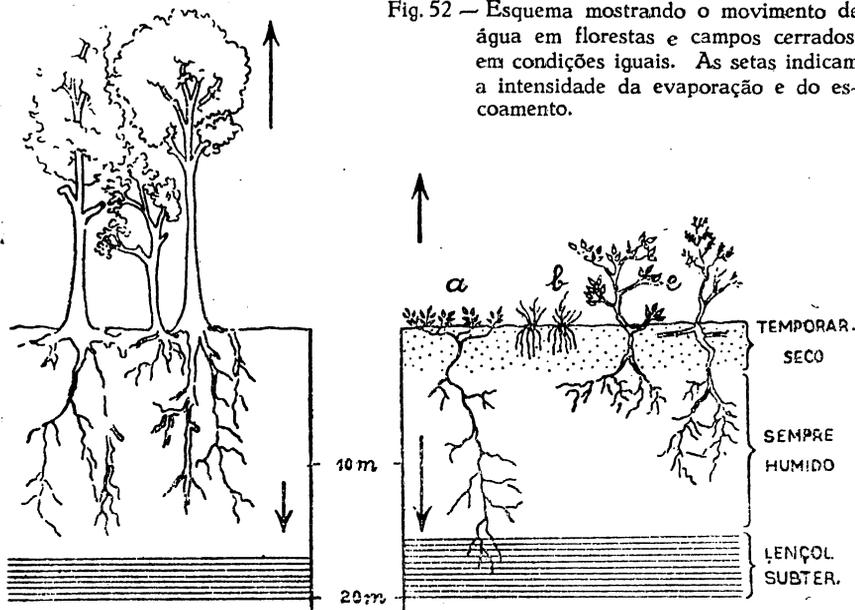


Fig. 52 — Esquema mostrando o movimento de água em florestas e campos cerrados, em condições iguais. As setas indicam a intensidade da evaporação e do escoamento.

não perturbadas e onde o solo tem bastante espessura, permitem o desenvolvimento de uma vegetação rica; uma vez estabelecido o equilíbrio e retornada a vegetação ao seu estado de "climax", não só a lixiviação será reduzida ao seu mínimo, como também a erosão. Assim, a erosão que é um fator importante na Agricultura, numa apresentação de Ecologia que trata das condições normais da vegetação, passa para um plano secundário. Para de-

monstrar isso, apresentamos uma tabela que elucida o fato eloquentemente, para os campos ou o "veld" da Africa do Sul.

TABELA 36

ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE AGUA E EROSAO NUM CAMPO PERTO DE PRETORIA (AFRICA DO SUL) — MEDIA DE 4 ANOS
seg. *Thompson* apud *Jarvis* (47)

	Campo natural	Campo já usado como pasto	Pasto queimado	Campo des-pido de toda vegetação
Agua escoada superficialmente em % da precipitação total	0,5%	4,1%	9,5%	39,4%
Solo erodido em toneladas por "Morgen" (= 8,540 m ²)	0,05	0,21	1,09	36,49

Estas regiões, que são muito acessíveis ao perigo da erosão, mostram valores muito elevados nos campos, quando lhes foi tirada toda a sua vegetação. Dessecada a superficie, acontece o que mencionamos na pag. 133: as chuvas em grande parte não entram no solo; 39,4 % escoam superficialmente, arrastando consigo uma grande parte de terra, que corresponde a mais de 36 toneladas por unidade de área, isto é por "Morgen" ou 8,540 m². O mesmo campo, porém, deixado no seu estado natural, mostra valores perfeitamente insignificantes de agua escoada e solo erodido. O mesmo campo já usado como pasto indica perdas maiores, crescendo-se ao estrago causado pela pastagem o prejuizo provocado pelas queimas, os valores tornam-se grandes.

Terras lavradas vão se manter, de acordo com a sua vegetação e o seu tratamento, entre os limites indicados na tabela. Não precisamos salientar que os valores dependem do declive dos campos e da composição do solo; argilas e humus solidificam a superficie. O fator mais importante, porém, é a força das precipitações e estas, como explicamos na 1.^a parte (pag. 93), nos climas quentes, atingem o seu máximo. Por isso, compreendemos os perigos da aradura em regiões quentes. Terra sem vegetação, arada — "fallow" dos ingleses, "Brache" dos alemães, "friche" dos franceses e para a qual encontramos em portuguez só a palavra pouco usada de alqueive — é a mais sujeita a erosão. A repugnancia dos povos de climas quentes a usar o arado e a sua preferencia

pela cultura á enxada, tem assim a sua explicação. Em tais regiões devemos proporcionar toda a proteção possível á superficie do solo e nisso consiste uma das maiores vantagens da adubação verde.

O melhor método preventivo contra a erosão seria manter a vegetação natural. Como, porém, a Agricultura é necessaria, esta vai correr perigos tanto menores, quanto mais aproximar o estado das culturas do da vegetação natural. Onde a cultura, especialmente com o uso do arado, expõe grandes superficies á agua, ao sol e ao vento, empregam-se as medidas hoje muito aperfeiçoadas, especialmente de terraceamento. A descrição de tais práticas já ultrapassa a intenção de nossa apresentação. O país mais prejudicado pela erosão até agora foi a Republica dos Estados Unidos. Lá as suas consequencias e os metodos de combate foram melhor estudados e o leitor encontra ampla informação em livros como o de *Bennett* (6). Entre nós o problema é bem discutido por varios autores, como por ex. *Cunha Freire* (26). Muitas vezes é suficiente dispor as culturas em linhas de nivel, de maneira que os sulcos do arado formem contornos horizontais e represem a agua de erosão superficial. Outras vezes, em condições de maior declive, constroem-se verdadeiros terraços, como já foram empregados desde a antiguidade, na Asia e tambem no Perú.

O perigo de erosão torna-se principalmente grave em terras arenosas, como por exemplo nos arenitos de Baurú e Botucatú. Uma vez desnudada a superficie, formam-se sulcos que logo degeneram em bossorocas, cuja profundidade pode atingir dezenas de metros, ilustradas bem nas primeiras estampas do livro de *Vageler* (123).

Uma vez afogada pelo dessecação, a superficie torna-se accessivel á erosão eólica (abrasão) e o estado final de todo o processo é a formação de dunas de areia. Faixas de árvores, as chamadas "shelter belts" formam cinturas de proteção eficiente, sendo muito empregadas nos Estados Unidos.

G) — A AERAÇÃO DO SOLO

O ar contido no solo é de grande importancia ecológica. As raizes precisam dele para a sua respiração e, como hoje sabemos, a absorção da agua e, especialmente, das substancias dissolvidas é função da sua atividade vital. Isso não se entende por si mesmo. A absorção da agua é apresentada modernamente, muitas vezes, como um efeito físico, sendo a sucção que parte das folhas transmitida ás raizes pelas colunas correntes que existem nos vasos e que estão muitas vezes sob uma pressão negativa. Em consequencia da Teoria da Coesão até raizes mortas deveriam absorver agua. Isso porém, se ocorre na natureza, dá-se em escala insufficiente.



Fig. 53 — Vale irrigado, em região arida; na raiz dos Andes, perto de Nazca, Perú. (Seg. Rich, 94; reprodução gentilmente autorizada pelo Dr. John L. Rich e pela American Geographical Society).



Fig. 54 — Cultura de algodão em linhas de nível contornando as encostas, como medida de combate á erosão. (Seg. Cunha Figueira, 26, reprodução gentilmente autorizada pela Diretoria de Publicidade Agrícola do E. de São Paulo).

Como se depreende já da existencia da seca fisiológica em que a absorção da água é prejudicada por temperaturas baixas — acima de zero — ou por falta de oxigênio ou pela existencia de substancias tóxicas no solo, a atividade vital das raízes deve ser implicada em tais processos. Sobre o mecanismo destes, a Fisiologia vegetal ainda sabe pouco e, sem dúvida, as varias especies de plantas poderão diferir no seu comportamento.

A importancia do ar que nos interessa aqui evidencia-se especialmente pelo fato do poder seletivo de absorção das raízes. Estas não absorvem os sais existentes na “solução do solo” na proporção em que existem nela. Certos sais podem entrar em quantidade maior, outros em quantidade menor do que a que corresponde ás proporções da solução. Se fosse perfeitamente impermeavel aos sais, a raiz deixaria entrar só agua; mas, a raiz não só pode adquirir certa permeabilidade: as suas superficies agem, como já mencionamos (pag. 71), como anfolitos que, em certas condições, atraem e fixam certos anions e cations, por assim dizer á sua vontade propria. Mais ainda, estas substancias são transportadas da superficie exterior da camada protoplasmica até dentro da célula e daí são levadas para os pontos de consumo. Emfim, toda uma serie de atividades que requer energias, dependendo da respiração.

A quantidade de oxigênio, que é necessaria para permitir tais atividades ao sistema radicular, varia de acordo com as condições e com as especies de plantas. *Hoagland and Broyer* (43), para só citar um exemplo, constataram que raízes de trigo absorveram o potássio e ions de nitratos e halogenios, só quando aerados com uma mistura de gazes contendo pelo menos 7,5 % de O₂.

Assim se compreendem as observações citadas na Botânica aplicada, que as colheitas decrescem quando o solo é rico demais em agua, porque a agua então expulsa demais ar dos poros. Vemos na tabela seguinte como o rendimento de plantas cultivadas cresce com o conteúdo de agua no solo até um maximo, que é atingido quando a capacidade de agua chega a 60 % para o centeio e 80 % para as tres outras culturas. Com 100 % de agua, quer dizer 0 % de ar, todas as colheitas são muito pequenas.

Num solo que parece perfeitamente saturado de agua a respiração não deve parar necessariamente: sempre é possível que permaneça ar incluído nos poros, porque, como mostrou *Chapman* (21), até a maré alta não expulsa todo o ar quando cobre as terras costeiras. Mas, mesmo que todos os poros fossem ocupados por agua, esta também mantém em solução uma certa quantidade de oxigênio, — que é pequena e decresce com a temperatura, como veremos, quando tratarmos da Hidrobiologia. Se forem esgotados os últimos restos de oxigênio, ainda fica a respiração intramolecular, realizada por muitas raízes e que serve, frequentemente, aos Autores para explicação das atividades das raízes. Mais

importante, porem, é o arejamento interno das raízes e dos rizomas, através dos espaços intercelulares. Estes, especialmente em plantas aquáticas e de brejo, são bem desenvolvidos e, como *Lainq* (55) ultimamente mostrou, deve haver aí, uma difusão ativa, pela qual o oxigenio passa das folhas até os mais profundos rizomas, submersos na vasa do fundo dos lagos (e, vice-versa, o CO₂ difunde dos rizomas para as folhas, onde serve para a fotossíntese).

TABELA 37

RENDIMENTO RELATIVO E TEOR DE AGUA, seg. *Mitscherlich*
apud *Lundegardh* (63, pag. 181)

Rendimento das culturas seguintes	Teor de agua em % da capacidade do solo				
	20%	40%	60%	80%	100%
Centeio (<i>Secale cereale</i>)	30,7	71,4	92,8	77,6	19,7
Ervilha (<i>Pisum sativum</i>)	14,1	50,3	87,4	100,0	9,3
Fava (<i>Vicia faba</i>)	16,0	48,4	63,9	100,0	33,8
Batatinha (<i>Solanum tuberosum</i>)	15,8	48,3	89,0	100,0	62,5

De tudo isto resulta que será difícil indicar para as plantas certas quantidades-limites de ar ou de oxigenio, que devem existir no solo para permitir a vegetação de certas especies ou associações; os fatores citados variam, segundo as condições e podem trazer consigo variações na resistencia das plantas. Já a profundidade e o comprimento das raízes influem na possibilidade da sua aeração interna.

Assim, a tabela seguinte só terá valor orientador. Empréstimo-la do trabalho mais completo sobre o assunto, de *Romell* (95). Deste trabalho depreende-se também o fato importante de que a difusão no solo é viva, mantendo rápida a ventilação e a substituição do O₂ respirado. Só em solos já enxarcados observam-se valores pequenos de O₂ que podem atingir limites tão baixos como 0,5 % em culturas de arroz que ainda produzem. O arroz, porém, é uma planta típica dos brejos e a sua resistencia á falta de oxi-

TABELA 38

CONCENTRAÇÕES CRÍTICAS DE O₂ NO AR DO SOLO, ABAIXO DAS
QUAIS COMEÇAM OS PREJUÍZOS, SEGUNDO VÁRIOS AUTORES
INDICADOS POR *Romell* (95)

Plantas	O ₂ — vol. %
<i>Coleus</i>	16
<i>Opuntia</i>	10
<i>Zea Mays</i> (milho)	6
<i>Hordeum</i> (cevada)	
<i>Solanum tuberosum</i> (batatinha) ..	3
<i>Pisum sativum</i> (ervilha)	1.5 (raízes deixam de crescer)
<i>Oryza sativa</i> (arroz)	0.5 (raízes crescem ainda 13 dias)
<i>Salix</i> sp. (salgueiro)	0 (raízes crescem normalmente sem O ₂ no solo durante 10 semanas)

genio, recentemente foi evidenciada por *Taylor* (115). Não é, porém, necessário atribuir tal adaptação à respiração intramolecular. Deve-se tratar antes da aeração interna; senão, não poderíamos compreender o crescimento normal de salgueiros, — característicos das zonas de inundação, à margem dos rios, — até em solos onde há ausência completa de oxigênio.

Os manguesais (Mangrove) do Litoral tropical apresentam os exemplos mais eloquentes da adaptação das plantas à falta de aeração dos solos. As ricas variações existentes de raízes respiratórias — que aumentam a ventilação interna — serão apresentadas na parte que tratará da vegetação do Litoral.

Onde escasseia o oxigênio costumam crescer os valores de CO₂ e onde falta o oxigênio temos, na presença de substâncias orgânicas, rica fermentação que produz substâncias tóxicas, como aliás já mencionamos quando tratamos do húmus. O próprio CO₂, em concentrações maiores, pode tornar-se um tóxico e a sua presença pode prejudicar o crescimento das plantas. Apresentamos novamente uma tabela de valores reunidos por *Romell* (95), indicando que a maioria das plantas superiores já sofre com va-

lores baixos. Segundo *Lundegardh* (63, pag. 298), a maioria das plantas já se ressentem desde 1%. Novamente o salgueiro demonstra a sua resistência absoluta.

TABELA 39

CONCENTRAÇÃO CRÍTICA DE CO₂ ACIMA DA QUAL COMEÇAM OS PREJUÍZOS. SEGUNDO VÁRIOS AUTORES INDICADOS POR *Romell* (95)

Plantas	CO ₂ — vol. %
<i>Phaseolus</i> (feijão)	2-4
<i>Vicia sativa</i>	3
<i>Secale cereale</i> (centeio)	5
<i>Lupinus</i>	
<i>Pisum sativum</i> (ervilha)	
<i>Mucor stolonifer</i> (mofo)	10
<i>Saccharomyces</i> (levedo)	99.8
<i>Salix sp.</i> (salgueiro)	100 (raízes crescem normalmente durante 10 semanas)

A concentração do CO₂ no ar dos solos pode ultrapassar 8 e mesmo 10%, nos solos até agora estudados. O método de estudo não é fácil, especialmente quando se trata de solos tão profundos como os brasileiros. Muitas vezes, porém, como indica *Romell* (95), as águas subterrâneas são bons indicadores. Num estudo de *Kleerekoper* (52) este autor mostrou a extrema riqueza em gás carbônico de uma nascente em Emas, Pirassununga (43,0 mgr. por litro), ao passo que o oxigênio dissolvido só existe em traços. A riqueza das águas subterrâneas em CO₂ nas regiões tropicais é um fato já muitas vezes constatado.

Os solos, até quando bem arejados e cujo ar, na sua composição, se aproxima muito do da atmosfera, podem porém ser muito heterogêneos, encontrando-se sempre "ninhos" onde ar e água não podem ser facilmente substituídos. Assim se explica a existência de bactérias anaeróbicas, como o *Bacillus tetani* que pode existir em terras fofas e bem arejadas de jardins. Citamos

o fato porque mostra a cautela que deve ser empregada nos métodos de estudo.

A importancia prática da aeração do solo é grande. Entre as plantas cultivadas existe toda uma escala de sensibilidade, desde o café e o chá que se ressentem muito da falta de aeração, até o arroz, tão resistente. Que a vida bacteriana do solo é afetada por isso, vimos no capítulo sobre o humus no solo. Na ecologia das associações de brejo, dos manguesais e da agua, vamos lembrar de quanto o oxigenio no solo pode ser um fator limitante. Se a maioria das plantas terrestres é excluída de tais lugares, isto é devido á pouca resistencia de suas raízes á falta de oxigenio.

H) — A DETERIORAÇÃO DAS TERRAS PELA CULTURA

As considerações anteriores nos permitem compreender na sua causalidade o andamento da deterioração, á qual todos os solos cultivados estão sujeitos, especialmente em regiões quentes. Na verdade, onde ha cultura humana, nunca conhecemos com certeza o estado normal que os solos apresentavam antes da vinda do homem. Em toda a America do Sul é dificil avaliar o papel dos indigenas neste sentido. A Etnologia conta com a possibilidade de que a cultura indigena já passara pelo seu maior desenvolvimento antes da descoberta. Os Maias, na America Central, como parece, costumavam cultivar terrenos recém-abertos, de florestas só por poucos anos (*Lundell*, 64), e depois abandonam-nos novamente ao reflorestamento natural, sem dúvida por reconhecerem o papel saneador da floresta. Tais métodos devem ter influenciado grandes áreas de terreno, mesmo em regiões onde a população era escassa.

Por isso, a distribuição dos grandes grupos de formações, como florestas de um lado e campos de outro, que hoje encontramos em toda a America do Sul, provavelmente não será mais a primitiva, mas terá sido profundamente alterada. Esta possibilidade, da maior importancia para toda a nossa Ecologia, já tem sido muito discutida, quer se trate dos pampas argentinos ou dos campos do Brasil.

Para Lund, cujo trabalho em lingua dinamarquesa se tornou acessivel por uma referata detalhada de *Warming* (127, pag. 98), todos os cerrados e campos limpos provêm das florestas secas e xerofíticas do tipo das "catanduvás", transformação essa provocada pelos incendios. *Warming* e a maioria dos autores que escreveram sobre a vegetação brasileira ou sul-americana contestaram, achando dificil atribuir a existencia dos campos, com sua vegetação tão característica, só á atividade do fogo ou de outras influencias secundarias. Isso se compreende: a diferença de aspecto fisionômico e da composição florística da vegetação dos cam-

pos e das florestas é tão grande, que o espectador se acha confrontado com duas cenas genuinamente diferentes.

Não vamos recapitular os pros e contras proferidos pelos varios pesquisadores, tão bem citados por *Frenquelli* (34) e *Ferri* (31); acrescentamos só que, hoje em dia, a opinião que atribue influencia fundamental às queimadas, em todos os continentes, está em franco progresso. Para onde olharmos nas descrições fitogeográficas modernas, encontraremos menção de queimadas devastadoras, que foram provocadas já em épocas muito primitivas, quer pelos indígenas, quer pelo homem pre-histórico.

Entre a rica bibliografia, mencionamos, por exemplo, *A. Consigny* (24), cuja publicação, tratando das colonias francezas, traz o título expressivo "L'avenir économique de nos possessions d'Ou-tre-Mer compromis par les feux de brousse, de savane et de forêt". *Lane Poole* (57, citado por *Brass*, 13) descreve, em relação á Nova Guiné, o deflorestamento extensivo por queimadas de caçadores no Monte Sarawaket; vêm-se ainda partes queimadas de florestas compostas de *Dacrydium*, *Libocedrus* e Samambaia-assús, crescendo em encostas verdejantes e surgindo de clareiras que poderiam parecer naturais. "There is no doubt in my mind" escreveu ele (l.c., pag. 180), "that except for the very marshy land and the actual cliffs and outcrops of limestone, the whole of this mountain top was under a forest of conifers and myrtles", atribuindo a devastação aos incendios feitos pelos nativos.

As idéas de *Lane Poole* são partilhadas por *Van Steenis* (114), também citado por *Brass* (13) que, em trabalho detalhado sobre a origem da flora das montanhas da Malaya, emite a opinião de que as savanas dessa região não são formadas por vegetação natural, mas o resultado de queimadas continuas.

Quanto á Africa, *Scaetta* (98), citado por *Michelmores* (77, pag. 301) "considera quasi todos os grasslands dos planaltos centrais da África como sendo secundarios, achando que a formação daqueles indica degradação do solo, que, em casos extremos, pode tornar-se irreversível". A causa da transformação em muitos casos reside, para ele, na destruição das florestas pelo fogo, devido ao homem ou a descargas elétricas.

O mesmo rumo seguem as observações de *Scott* (102), também na África central, que mostrou que proteção contra o fogo produz já em 2 anos um espessamento evidente da vegetação de arbustos, em detrimento das *Gramineas* (l.c., pag. 227).

Finalmente, reproduzimos as palavras de *A. S. Thomas* (117), também sobre a Africa tropical "The influence of climate must not be allowed to obscure the importance of other factors, notably those of human influence and of soil composition, to which are due many of the local variations in plant communities. In the regions of high temperature and heavy well distributed rainfall the typical vegetation is evergreen forest, but in some places large stretches of open grassland occur. There is no doubt that these areas of grass are mainly due to the influence of man, who has burnt the forest to obtain clearings for cultivation. Some types of grassland, such as that in which *Pennisetum purpureum* is dominant, if they are protected from grazing and burning for a few years will revert to forest. But there are other cases where the exposure of the soil to tropical sun and rain has made it dete-

riorate so much that trees cannot colonise the ground. For example, when the inhabitants and the cattle on the Sese Islands in Lake Victoria were evacuated for over ten years on account of sleeping sickness, the more fertile farmlands were rapidly covered with forest but the trees encroached very little on the less fertile grasslands although there was no burning or grazing”.

Para ilustrar a grande extensão das queimadas na África citamos ainda um trecho de *Knoche* (53): “*Von Dankelman*, (27) avaliou, em 1880, a área das queimadas na África tropical meridional em 20 a 80 % da área total de 76 milhões de Km². No Congo inferior as queimadas abrangeram 70 % da superfície do país. Um número perfeitamente compreensível, pois num incêndio de floresta dos últimos anos, na região húmida e rica em Lagos de New Foundland, 60 % das florestas foram aniquiladas (*Shaw*, 107)”.

A analogia da situação na America do Norte evidencia a obra de *Weaver* e *Clements* (130) que já na pag. 2 apresenta a figura de uma floresta densa de carvalhos que se formou depois da cessação das queimadas de campina (“prairie fires”). Na pag. 48 dizem estes autores que nas reservas das Montanhas Rochosas puderam ser constatadas pelo menos 13 queimadas durante o período de 1707 a 1905. Quanto aos “chaparrals”, formações de aspecto muito xerofítico, acham que parte da área coberta por aqueles pode ter um clima de floresta e que aí o crescimento das árvores está sendo impedido por queimadas sucessivas.

Com respeito a Honduras Britânica, citamos *Lundell* (64): “Fires sweep most of the pinelands periodically In some areas only treeless barrens remain; these are often referred to as dry savannahs”.

Em Surinam, *Pulle* (90) achou que as florestas pluviais que cobriam inicialmente o país foram a principio deterioradas pela lixiviação devida ás grandes chuvas. “Esta mudança deu origem á savana arborea. A savana arborea deu lugar a uma vegetação inferior mais ou menos xerofítica. Esta vegetação é mais sujeita ao dano pelo fogo. As árvores não se restabelecem tão rapidamente, após as queimadas, como as ervas; estas devem sua resistência ao fogo, em parte aos rizomas que frequentemente possuem. Uma nova vegetação, constituída principalmente por plantas herbáceas, invade o solo. As queimadas repetidas mantêm esta vegetação como um climax provocado pelo fogo (“fire climax”).

Muito eloquentes são as palavras de *Myers* (83) sobre as savanas da Guiana inglesa: “The scattered aboriginal Indians are inveterate burners. It is almost impossible to prevent one's Indian carriers from setting light to the dry grass. They do this to signal their approach and for pure fun. I have never seen in South America a savannah however small or isolated or distant from settlement which did not show signs of more or less frequent burning. The ranchers burn to destroy the roughage and encourage young tender growth for their stock. The main savannah plants, notably *Trachypogon plumosus*, *Paepalanthus capillaceus* and *Curtella americana*, are so eminently adapted to burning, which they almost invariably survive, that we are justified in regarding the present vegetation as a fire climax (subclimax in *Clements'* terminology)”.

Quanto ás outras partes não brasileiras do nosso continente já nos referimos á discussão de *Frenquelli* (34) que considera principalmente a Argentina, onde especialmente as citações de *O. Schmieder* (101) apresentam o caso sob o aspecto aqui considerado.

Este autor se refere ás fontes históricas que mencionam a existência de bosques no pampa de hoje; á possibilidade de cultivar *Eucalyptus*, *Casuarinas*, *Ailanthus*, *Durazneros*, etc., e do Ombú indígena, cuja sombra protege os ranchos. Finalmente, cita vestígios prehistóricos que mostram que os indígenas usaram o fogo.

A nós parece especialmente convincente a possibilidade de cultivar árvores. E' verdade que a sua cultura requer cuidados especiais, caracterizados por *Parodi* (88, citado por *Frenquelli*, 34) da seguinte maneira: "é sempre á custa de grande trabalho durante o primeiro periodo de crescimento, devendo-se fazer uma cova adequada, remover bem a terra, dar-lhes irrigação suficiente, extirpar as *Gramineas* invasoras, etc."

A necessidade de tais cuidados hoje em dia não comprova que a floresta não tivesse sido a vegetação primitiva. E' claro que a extinção da floresta provoca alteração tão profunda no solo, que a floresta antiga não pode novamente tomar pé por si só.

No Brasil, desde *Lund* (62) os autores não se cansam de mencionar as consequências devastadoras das queimadas, em cuja descrição concordam observadores como *Dusén* (28), *Ihering* (45), *Loefgren* (59, 60), *Hoehne* (42).

Estas citações, que facilmente poderiam ser duplicadas, falam uma linguagem eloquente. A última palavra, em cada caso especial, porém, vai ser dita só depois de estudos detalhados do balanço da água da vegetação, e das reservas de humidade no solo.

Em todo caso não ha dúvida que os incendios aumentaram a área dos campos á custa das florestas. Não sabemos, porém, se são só as florestas do tipo seco, como as catanduvras que são sujeitas a tais transformações, como o supoz *Lund*, ou se até florestas de tipo mais húmido são também atingidas por eles.

Alguns autores modernos têm a tendencia de generalisar muito a importancia das transformações da vegetação, devidas ás queimadas. Chegam a atribuir a existencia de todas as estepes e até dos desertos á intervenção humana. Isso por exemplo parece querer exprimir *Van Steenis* (114) quando diz: "we can say that, according to our opinion, man himself is the main factor in the origin of deserts, that deserts are of anthropogenous origin, that the flora is a selected tolerating anthropogenous vegetation, that man has disturbed his own milieu by reckless use of the soils and its original plant cover and that the climate is not the cause of but only the condition under which deserts can originate" (l.c. pág. 55).

E' verdade que, antigamente, no centro da Asia, existiam condições muito mais húmidas, como evidenciou *Sven Hedin* (40) na exploração do lago Lobnor no Tibet; lá existia, ha 1.600 anos, uma povoação com construções de madeira. Hoje, as florestas mais próximas distam desse lugar varios milhares de kilómetros. Estas informações sobre a Asia, que facilmente poderiam ser ampliadas por outras citações, têm seu paralelo no Saara (vide por ex. *J. Chavanne*, 22), onde restos de elefantes, crocodilos

e bois testemunham a existencia de florestas, em regiões que hoje só são acessíveis ao camelo.

E' difficil, porém, concordar com a idéa de que todos os desertos e as estepes sejam provenientes do deflorestamento. Sem dúvida, desertos e estepes podem existir sem intervenção humana. As plantas xerofíticas que habitam tais lugares tiveram que se desenvolver com todas as suas particularidades e adaptações ao clima seco, durante longas épocas geológicas. Entre as camadas sedimentares das épocas mais longinquas, encontramos arenitos vermelhos, sem dúvida de origem terrestre, cuja estrutura e constituição indicam proveniencia de desertos, sendo tais formações muito frequentes no Brasil, com seus arenitos triássicos, jurássicos e cretáceos.

Tambem hoje, na América do Sul, existem vastas areas cujo clima sem dúvida é hostil á floresta. E provavelmente *Warming* (127) acerta quando acha "absolutamente inadmissível a hipótese que quer que os incendios tenham provocado essas transformações em toda a extensão imensa dos campos que cobrem o interior do Brasil" (l.c., pág. 469). O problema só pode consistir em saber quais as regiões cujo clima e solo permitem ou permitem, sem a intervenção do homem, a existencia de florestas, e quais aquelas que as excluem.

Sem dúvida, os mapas fitogeográficos modernos que indicam a distribuição de estepes e florestas na America do Sul não representam ainda a última palavra.

Um tratado tão moderno como o de *Trewartha* (118) reproduz um mapa onde quasi todo o interior do Brasil central-meridional, com exceção das serras costeiras aparece caracterizado pelo clima de savana. O erro encontra-se explicito nos "Quadros de Vegetação do Brasil Meridional" de *Wettstein* (133), para quem "A parte interior do Brasil meridional, isto é a parte occidental dos Estados de S. Paulo e Paraná e a parte limítrofe dos Estados de Minas Gerais e Goiás pertencem á região das savanas". Para *Wettstein*, estas já começam no Alto da Serra, entre Santos e São Paulo, onde a Estrada de Ferro deixa a Serra costeira (l.c., pag. 4). Foi o aspecto árido dos campos artificiais que iludiu o botânico tão competente. O engano é tanto mais compreensível por se basear em descrições de *Schimper* (99, 100).

Aos observadores brasileiros, os fatos reais entretanto não escaparam. Assim, *Ihering* (45, pag. 127) já salienta a insuficiencia dos mapas de *Griesebach*, *Engler*, *Schimper* e *Drude*, insuficiencia essa que até na nova edição de *Schimper*, feita por *Faber* (100) ainda subsiste. A existencia de tão amplas faixas de florestas húmidas que cobrem, em uma largura de centenas e centenas de kilometros, a região occidental dos Estados de São Paulo e do Paraná — as últimas recentemente descritas por *Maack* (65)

e fotografadas de avião por Rich (94) — basta para nos informar sobre o “Clima de floresta” desses Estados. Caracterizadas por Maack como “florestas pluvio-tropicais”, estas matas cobrem tanto as regiões de diabasio, como as formadas por arenitos. Como estes fornecem os solos mais magros, seria de se esperar — se houvesse razões de ordem edáfica que excluíssem aí as florestas — que não existissem em tais lugares. Provavelmente, porém, uma vez eliminadas as florestas, estas se reconstituem mais facilmente em terras cuja decomposição dá solos barrentos, do que nas areias subsistentes dos arenitos. Teremos de esperar, então, que, em regiões uma vez alteradas pelo homem, haja campos de preferência em solos arenosos e pouco férteis, e não nos solos mais barrentos e mais férteis.

* * *

O que acabamos de expor torna claro que deve existir toda uma série de deterioração que começa com a floresta e vai até a areia esteril. Tal transformação pode dar-se com relativa rapidez. Um trabalho detalhado de *Olmsted* (87) mostra que em Connecticut nos Estados Unidos, a vegetação de planícies hoje arenosas e quasi estereis com dunas incipientes, não é formação primitiva. Das memorias históricas ressalta que aí antes da vinda do homem branco o indio conservou suas areas de caça, mantendo-as limpas pelo fogo, e que o homem branco (1750) cultivou e abandonou sucessivamente as suas terras. Da mesma leitura depreende-se também que ainda devem existir queimas ocasionais. O solo, porém, contem bastante humidade para permitir o desenvolvimento de árvores florestais, como carvalhos (*Quercus velutina*) e pinheiros (*Pinus rigida*). Impedida toda e qualquer perturbação, um climax de floresta sem dúvida será restabelecido.

Nas restingas da Kurlandia, existem hoje em dia vastas áreas de dunas movediças que até enterraram habitações e uma igreja. Ha menos de dois séculos, existia nessa região uma floresta principalmente de *Pinus*, cujo corte promoveu esta deterioração radical. Em casos como o da devastação das florestas do Mediterraneo, o vento pode erodir toda a terra, permanecendo apenas as rochas nuas das montanhas. Em tais casos, o reflorestamento torna-se um problema dos mais difíceis. Onde a terra ou a areia podem conservar agua, uma restauração da floresta antiga sempre será possível, embora seja difícil e demorada.

I) — ALGUMAS OBSERVAÇÕES SOBRE A DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS BRASILEIROS

Os tipos de solos costumam ser apresentados em mapas, mas parece que para o Brasil ainda não podemos estabelecer, com

muita confiança, tais mapas sobre vastas extensões. Os que existem, como o de *Matthei* (69), para a America do Sul, encontram acolhida reservada pelos conhecedores, como *Camargo e Vageler* (17, I) e um simples olhar para a última sinopse de *Hardy* (39) nos mostra quão poucos elementos temos para o julgamento dos fatos.

Como se depreende das nossas considerações sobre a deterioração dos solos, todos os solos expostos direta ou indiretamente à influencia do homem se encontram num estado de deterioração, deterioração essa que depende do grau e do tempo de duração de tais influencias. Para fins ecológicos importa primeiro conhecer os solos nas suas condições naturais, quer dizer, quando cobertos ainda pela vegetação primitiva. Como foi exposto, muitas vezes não sabemos com exatidão qual seria esta vegetação primitiva.

As vegetações, depois de uma perturbação, tendem a restabelecer o seu estado primitivo ou seja natural, estado esse que corresponde melhor ás condições do clima e do solo. Este estado original — e final — na Sociologia botânica, é chamado, como veremos na 3.^a parte, de “climax”. Como já mostramos, a vegetação, especialmente nos nossos climas, exerce uma influencia profunda sobre o desenvolvimento dos solos. Podemos, então, estabelecer um fato fundamental: ao estado de climax da vegetação deve corresponder tambem um estado de climax do solo. Se quizermos compreender o estado de deterioração dos solos, precisamos conhecer o seu estado normal, ou de climax. Para a vegetação, além do equilibrio do climax, estabeleceram-se outros equilibrios secundarios, equilibrios estes que aparecem quando continua uma certa perturbação dada. Por exemplo, existe um climax dos campos queimados, que podemos chamar com *Weaver e Clements* (130) de “climax de queima” (fire-climax). Provavelmente, o solo sob um tal climax secundario, vai tambem tender a estabelecer o seu “fire-climax”, da mesma forma.

Como solos naturais, em nosso país, só conhecemos com certeza os das matas virgens; a caracterização dos demais requer estudos consecutivos, tais como os começados nas análises de Campinas citadas na pag. 119. Em tal estado de coisas, todos os levantamentos pedológicos só terão valor ecológico, quando pudermos comparar grandes séries não só no espaço, mas tambem no tempo. Para a Agricultura, naturalmente, têm o seu valor imediato, informando-nos sobre as medidas de tratamento de todas as terras para fins práticos. O leitor encontrará muitos dados valiosos sobre isso, especialmente nas publicações do Instituto Agrônomico de Campinas, desde a sua fundação por *Dafert* até hoje (literatura em *Camargo e Vageler* — 18, 17, 122 e *Setzer*, 106); aqui deixamos esta parte do assunto de lado, limitando-nos a considerações gerais de ordem ecológica.

A sorte dos solos depende da base geológica, do clima e da vegetação: estes três fatores modelam o solo. A configuração geológica desempenha, entre os três fatores, o papel de menor importância. Especialmente em condições húmidas, a influência da vegetação e da água transformam a superfície tão profundamente que, finalmente, pouco resta da sua estrutura e composição iniciais. Até a grande distinção entre os solos formados de calcários e solos de rochas cristalinas, oblitera-se em condições pouco perturbadas, tanto que nos Alpes pôde ser constatada, na camada de decomposição, sobre calcários, uma vegetação nitidamente calcífuga (*Braun-Blanquet e Jenny* — 14). Da mesma forma, a terra vermelha e finalmente o laterito constituem o estado final do desenvolvimento dos solos em climas tropicais, húmidos.

“No clima tropical húmido, toda a rocha e toda a vegetação pôde e deve dar origem à terra vermelha e finalmente ao laterito, a não ser que a vegetação seja tão exuberante que, pela sua decomposição, se produza reação ácida no solo, o que, por sua vez, altera os processos do intemperismo” — (*Vageler*, cit. por *Blanck* 9, pag. 194).

Embora em solos tão profundos como os brasileiros, a importância da Geologia do subsolo tenda mais ainda a desaparecer, está longe de ser pouco significativa. Até em solos não perturbados, como nas matas virgens do Paraná (pag. 120), *Maack* (65) constatou solos menos férteis sobre arenitos. Estes, na verdade, onde existem, são inconfundíveis em sua influência sobre a vegetação.

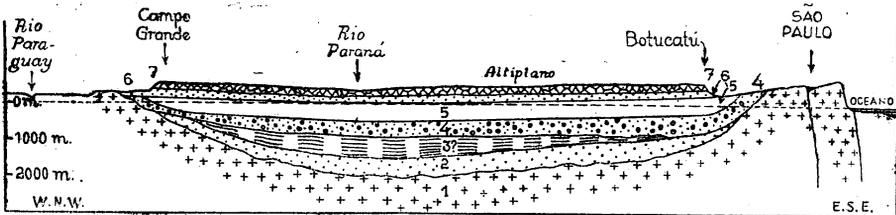


Fig. 55 — Corte muito esquemático através do E. de São Paulo de E.S.E. para W. N.W. Seg. Washburne, 129.

- 1 — massiço cristalino subjacente;
- 2 a 7 — camadas sedimentares que cobrem a leve sinclinal, cujo centro coincide aproximadamente com o leito do rio Paraná.

Na fig. 55 apresentamos um corte muito esquemático através do Estado de S. Paulo, feito por *Washburne* (129). O esquema mostra, em traços muito gerais, a base de rochas cristalinas que forma o bloco brasileiro e sobre a qual se encontram depositados os sedimentos que formam uma sinclinal pouco inclinada, sendo

a parte mais baixa o leito do rio Paraná. A grande maioria das camadas sedimentares  constituída por formaes continentais, compostas de arenitos; calcareos se encontram com pouca frequência, especialmente no arqueano.

A superposio dos sedimentos sobre a base cristalina  apresentada mais detalhadamente num corte esquemático tirado de *Moraes Rego* (78) (Fig. 56).

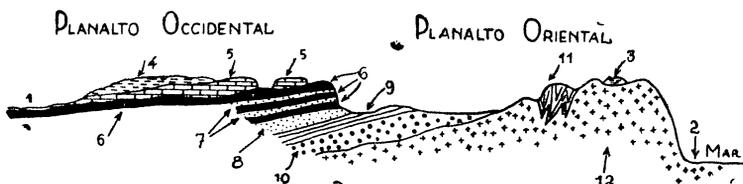


Fig. 56 — Seo esquemática generalizada no E. de São Paulo de SE a NW, Seg. **Moraes Rego**, (78).

- 1 — Quaternario fluvial
- 2 — Quaternario marinho
- 3 — Terciario de S. Paulo
- 4 — Terciario do Planalto ocidental
- 5 — Arenito de Baurú
- 6 — Eruptivas da serie de S. Bento
- 7 — Arenito de Botucatú
- 8 — Arenito de Piramboia
- 9 — Serie Passa-Dois
- 10 — Serie Itararé-Tubarão
- 11 — Rochas cristalofilinas da serie de S. Roque
- 12 — Rochas granitizadas, granito e gneiss.

Como a grande extensão dos arenitos nos sedimentos sugere a ideia de uma relativa infertilidade dos solos, mencionamos já a existencia de vastos lenois de massas eruptivas diabásicas que atravessam os sedimentos, especialmente os da serie de São Bento, geralmente colocada no inicio do Jurassico. A terra roxa, famosa pela sua fertilidade, origina-se dos produtos de decomposio destes lenois.

Mas, antes de encarmos isso, salientamos outro fato importante: a parte interior da região, coberta por sedimentos, constitue um altiplano, que foi pouco perturbado, como parece, em ocas geológicas mais modernas. A peneplanisao  adiantada, e as elevaes e os vales são suaves. As regiões costeiras, ao contrario, oferecem traços de perturbao muito recente. Todo o aspecto das costas brasileiras, a forma do litoral do Rio de Janeiro, a Serra dos Orgos, deixam ver isso eloquentemente. As encostas são muito íngremes, os rios não terminaram ainda a modelao dos seus leitos. Embora a interpretao da geomorfologia dessas partes do país seja discutida, as apresentaes de *Maull* (70) e

as fotografias e observações de *Rich* (94) não deixam muita dúvida. Partes da costa, recentemente submersas com seus vales afogados alternam com outras partes que parecem recentemente levantadas. Levantamentos bem recentes demonstram, nas praias rochosas, os buracos feitos por ouriços do mar que, sem dúvida, não ha muitos anos atrás, estavam por baixo do mar, e que agora se encontram até a 2 m acima do nível medio. Tais ocorrências já foram mencionadas por *Branner* (11, pag. 60) para os traquitos de Pernambuco. O paulista os pode ver facilmente, em Guarujá. O levantamento assim documentado é só de poucos metros, mas muito recente. Se se tratasse de movimento muito maior, os buracos não poderiam mais demonstra-lo, pois a rapida destruição da superficie das rochas não deixa subsistir por muito tempo tais traços.

Tambem *Alberto Betim* (7) supõe movimentos recentes: "Mais adiante, rumo a S. Paulo, outra massa granítica, parece ter surgido em época recente, entre Jacarehy e Mogy das Cruzes, que teria dividido em duas a lagoa terciaria, que iria de Barra Mansa a S. Paulo, promovendo a captura do rio Parahyba" (7, pag. 147).

Tais fatos são interessantes para a Ecologia, porque nestes casos deve se tratar de solos que ainda não tiveram tempo para chegar ao seu desenvolvimento final. Aí a lixiviação pode ser contrariada por exposição cada vez nova de rochas a serem decompostas. No altiplano do interior, porem, as condições parecem estabilisadas.

As terras roxas. — Uma posição de destaque ocupam as terras roxas formadas sobre os magmas basálticos do sul do Brasil. Estes ocupam, como diz *Euzebio de Oliveira* (86): "intensas áreas nos Estados de Minas Gerais (Triangulo Mineiro), São Paulo, Paraná, Sta. Catarina e Rio Grande do Sul, extendendo-se nas Republicas visinhas do Uruguai, Argentina e Paraguai, e tambem nos Estados de Mato Grosso e Goiás.

As rochas originadas desse enorme derrame apresentam-se com textura bastante variada, devido as condições fisico-químicas em que se fez o resfriamento, seguido da consolidação. Não obstante isso, a composição química das variedades é bastante uniforme, podendo ser aceita a seguinte composição media:

SiO ₂	.....	49.56
Al ₂ O ₃	.....	11.16
Fe ₂ O ₃	.....	6.42
FeO	.....	9.16
CaO	.....	8.66
MgO	.....	4.84
Na ₂ O	.....	2.55
K ₂ O	.....	1.71

H ₂ O	1.03
TiO ₂	2.66
CO ₂ - H ₂ O comb.	1.24
P ₂ O ₅	0.42
MnO	0.15
	99.56"

A esta citação acrescentamos que os diabásios existem em vários lençóis que, quasi horizontalmente, ou seja, com pequena inclinação, atravessam os arenitos da serie de São Bento (Fig. 56).

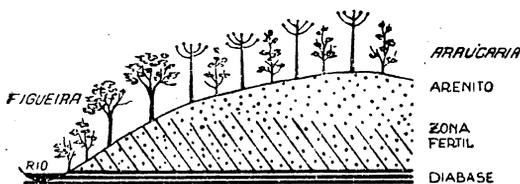


Fig. 57 — Corte esquemático em terras percorridas por lajes de diabásio. Onde as raízes da floresta alcançam o diabásio, a terra mantém-se fértil (associação da Figueira). Perdido aquele contacto, a terra, geralmente arenito, torna-se estéril por lixiviação, trazendo a associação da Araucária.

São camadas relativamente duras, de decomposição lenta, que muitas vezes formam capas acima dos arenitos mais facilmente erodidos. Os arenitos na sua vizinhança participam de sua fertilidade e para ilustrar as condições peculiares criadas por este entrelaçamento, damos o esquema da Fig. 57, tirado de observa-

ções no alto Paraná. A estrada de ferro, que liga o Alto Paraná com o Estado de São Paulo, corta desde Ourinhos regiões onde muitas vezes se vêm aflorar á superfície os diabásios. Perto de Rolandia, onde pudemos fazer observações detalhadas, encontramos geralmente o diabásio perto da superfície, ou pelo menos ainda ao alcance das raízes das árvores. Num poço que mantemos em observação, encontramos a agua subterranea a 10 m e o diabásio a 12 m de profundidade. Neste lugar, a floresta é rica, indicando na superfície um pH = 7 e entre as árvores não faltam os padrões de terra fértil, como Figueira branca e Pau d'Alho. Existem, porem, na mesma região, espigões com uma vegetação, que indica menos fertilidade, caracterizada por *Araucaria*, *Vochysia* e rico desenvolvimento de *Pteridium aquilinum*, correspondendo este aspecto ás florestas mais pobres descritas por Maack (65). Uma perfuração num tal lugar perto de Orle revelou o lençol de diabásio mais proximo, a uma profundidade de cerca de 27 m. As encostas do espigão em maior proximidade do diabásio, não têm mais vegetação de *Araucaria*, mas sim a vegetação mais rica, já indicada. No *Aracaurietum* não pudemos fazer mui-

tas análises nem colher material suficiente para analisar, posteriormente. Só pudemos constatar que o pH no *Araucarietum* era próximo a 5. O solo era ácido. Nas partes mais baixas, férteis, manteve-se próximo do ponto neutro.

A explicação é simples: onde as raízes das árvores podem chegar perto do diabasio, tiram dele as substâncias nutritivas que, com as folhas caem sobre a superfície do solo, que o fertilizam e mantêm o pH próximo a 7. Onde as raízes não mais alcançam o diabasio, as árvores não podem mais impedir a lixiviação e, com a perda das bases, inicia-se a acidificação. Em tais regiões, tudo o que diminua a atividade de raízes profundas acelera o empobrecimento das camadas. Culturas com plantas de raízes profundas, como alfafa, podem porem substituir, ao menos em parte, o papel das raízes profundas de árvores, trazendo á tona as substâncias da profundidade. Provavelmente, estudos posteriores vão evidenciar muitos fatos de importancia para a compreensão do desenvolvimento destes solos.

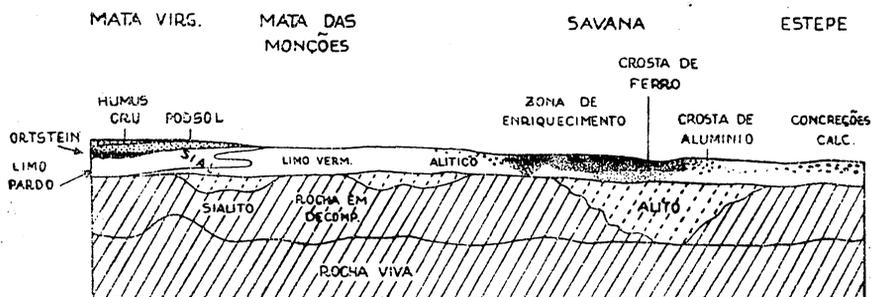


Fig. 58 — Esquema de solos tropicais segundo Harrassowitz, em grau de humidade decrescente, da esquerda para a direita.

Grandes áreas do Estado de São Paulo possuem, a pouca profundidade, idênticos lençóis de diabasio. O deflorestamento e a lixiviação subsequente tornaram a superfície esteril. As culturas atualmente existentes já perderam o contacto com as camadas férteis. A fertilidade da superfície, porém, poderia ser restabelecida por medidas adequadas.

Esquema geral dos solos tropicais. — Apresentamos, finalmente, um esquema no qual *Harrassowitz* (38) indica a distribuição dos 4 tipos mais importantes de solos tropicais (Fig. 58). Este esquema que reflete também as ideias de *Vageler* (*Harrassowitz*, 38, pag. 366) pode ser considerado como a concretização das ideias mais recentes da Pedologia. À esquerda aparece a floresta virgem com formação de humus crú, de podsol, de hardpan (Ortstein) sobre limos pardos. Se tais matas virgens, no Brasil meridional, existem em grande extensão, não o sabemos. Nas regiões húmi-

das do Amazonas parece que não faltam. As numerosas águas pretas, afluentes do Amazonas, parecem derivar de tais solos. As florestas do sul do Brasil parecem corresponder mais ao tipo das florestas indicadas como “de monções”. Estão sobre uma terra moderadamente vermelha e de teor de argila, ou areia, variável. Mais para a direita, indicado como “savana” temos terras com uma zona de enriquecimento, aparecendo uma crosta de Ferro até, um pouco acima de outra, mais rica em Alumínio. O subsolo parece alítico e não mais sialítico, como nos casos antecedentes. Tais regiões parecem raras no Brasil meridional. Onde ha Cargas, como no norte de Minas (vide pag. 117), podem ser esperadas, mas o autor não conhece uma análise e descrição de tais ocorrências. O último tipo, denominado “estepe”, indica concreções de cal. Tais concreções, muito descritas nas estepes norte-americanas só podem se formar onde falta lixiviação e onde não ha escoamento para um lençol subterraneo de agua. Na nossa região não podemos citar exemplos.

Todos estes 4 tipos dependem da humidade e os pedólogos tentam explica-los pela quantidade das precipitações, entrando nos seus cálculos o “fator das chuvas”. A questão não é, porém, só de ordem climatológica, como sempre aparece nas apresentações dos pedólogos; depende, principalmente, da propria vegetação, que dispõe das chuvas como foi demonstrado, aqui, detalhadamente. Da vegetação tambem depende o grau de lixiviação.

O tipo das “matas virgens” da fig. 58, sem duvida, é o tipo que corresponde em condições naturais á lixiviação máxima. A floresta é incapaz de neutralisar os seus efeitos, as camadas superficiais perdem todas as bases, sendo podsolizadas. Mencionamos já (pag. 86) a grande quantidade de bases que anualmente o Amazonas carrega para o mar. Se a formação do Ortstein no subsolo é um fenomeno muito geral aí, só o futuro esclarecerá. O outro extremo é constituído pelas “estepes”. Nas estepes verdadeiras não ha lixiviação para o exterior, falta o lençol subterraneo de agua e a pouca humidade que o solo contem tem movimento “interno”. No limite inferior — que é o da rizosfera das Gramineas, etc. — acumula-se o calcareo, que destas regiões nunca é afastado por lixiviação. Tais coisas foram bem estudadas nas regiões áridas da America do Norte e o leitor encontra a literatura e um esquema eloquente em *Jenny* (50, pag. 210).

Os casos de matas “de monções” e de “savana” são intermediarios. As florestas do nosso interior são do tipo das primeiras, mas não dependem de monções e a humidade pode lhes ser trazida no verão ou — como acontece no sul — no inverno ou em qualquer estação. Ao empregar este nome, *Harrassowitz* pensou nas condições das Indias e das Indias Neerlandezas (l.c., pag. 363), não nas florestas do nosso clima. O essencial é que estas, como as das monções, não manifestam estratificação. Aqui, as

florestas neutralizam a lixiviação. Às vezes, como foi mostrado por *A. da Silveira* (108) esgotam, na época seca, toda a água, secando, então os rios. No nosso caso, longe de ser podsolizada, a superfície mostra-se ligeiramente mais rica em bases, como o revelam as análises citadas na pag. 119; o subsolo, sempre misturado e afogado pela fauna e flora, mantem-se homogêneo.

O tipo mais duvidoso é formado pelo denominado de "savanna" dos autores citados. Segundo *Harrassowitz* (38, pag. 362) e *Vageler* (123) forma-se, em condições húmidas; a formação de laterito presuppõe forte lixiviação anterior da sílica, lixiviação esta que exige grande movimento e escoamento de água. De outro lado a concreção das crostas superficiais depende da falta de vegetação rica e que dá sombra. Provavelmente, como já mencionamos, tais condições ocorrem só em regiões deterioradas, influenciadas pelo homem, que removeu ou estragou a vegetação primitiva. Condições deste tipo determinaram na Palestina e na Mesopotâmia a formação de grandes crostas calcáreas, superficiais (*Veja Blanck*, 10). Uma vez formadas, tais crostas podem representar uma deterioração irremediável. As crostas não deixam mais entrar as águas de chuva.

Que as devastações pelo homem tiveram influencia muito mais extensa do que geralmente supomos, foi documentado na vasta literatura resumida nas pags. 131-133. A deterioração pode ser comprovada pela existencia, no solo, de água aproveitável mas não aproveitada, como no caso estudado por nós, á pag. 100. Que até em desertos de hoje podem ser encontradas águas subterâneas, pode-se ver na descrição de *Mortensen* (82).

CONCLUSÃO

Uma sinópse do que aprendemos sobre os solos nos proporciona a compreensão da gênese dos solos tropicais, compreensão essa que não deixa de ter conseqüências práticas. Vimos que a deterioração tão rápida dos solos em climas quentes e húmidos tem as suas causas principais no seguinte:

1) — A grande profundidade dos solos distancia a rizosfera das plantas da rocha mater. Esta, geralmente abastecida de todos os elementos necessários á planta, muitas vezes não é mais atingida pelas raízes, de maneira que estes sais nem entram no regime da planta, nem voltam para a superfície da terra. Em tais condições, a forte lavagem das terras, pelas grandes precipitações, póde-se efetuar livremente, arrastando aos poucos tudo que restou dos sais minerais na superfície, para as profundidades de onde finalmente são escoados.

2) — Esta lixiviação, em climas quentes, encontra menos resistência do que em temperados, visto a diferença das qualida-

des dos solos. Como vimos, o poder adsorvente das argilas tropicais é muito fraco, sendo também escassas as substâncias húmicas; cations e anions são retidos com pouca força.

Só depois de conhecer as causas da deterioração de nossos solos, poderemos combatê-las eficientemente.

O método primitivo consistia em cultivar os campos poucos anos depois da derrubada da mata, para abandona-los ao reflorestamento natural, quando começassem a perder a fertilidade inicial. A densidade crescente da povoação nos impõe a escolha de outros métodos.

Restituir ao solo a sua fertilidade perdida por meio de adubação é um remédio que se recomenda só em certas ocasiões. Em culturas de pequena duração, com raízes pouco profundas, a adubação artificial será indicada especialmente em lugares próximos de centros de consumo, onde o preço de venda compense as despesas de adubação. Em outros casos, a lixiviação rápida e a profundidade da rizosfera podem tornar a eficiência da adubação duvidosa. O tratamento hoje em dia mais recomendado é a adubação verde, mediante plantas, de preferência Leguminosas, cultivadas em redor da cultura principal. A adubação verde tem a vantagem de proteger a superfície da terra contra a erosão e também contra a lixiviação. As raízes mantêm a terra fôfa e os restos orgânicos que provêm finalmente da sua decomposição agem no mesmo sentido, fornecendo ainda substâncias húmicas.

A estas vantagens sempre citadas, podemos acrescentar mais uma que pôde ser de importância cabal: plantas usadas para conservar e melhorar os solos podem ser muito eficientes, especialmente em condições tropicais, se tiverem raízes muito profundas. A alfafa (*Medicago sativa*), por exemplo, manda — como vimos á pag. 108 — as suas raízes para profundidades muito grandes. Autores francezes atribuem a esta planta o poder de enriquecer o solo em fósforo, o que provavelmente se explica por esta razão. A alfafa só pôde ser plantada em solos que não sejam ácidos. Sua cultura em tais condições no Brasil meridional, felizmente, aumenta de ano em ano. Provavelmente, não seria difícil encontrar para os solos ácidos também plantas com raízes muito profundas, entre as espécies que poderiam servir como adubo verde.

Os capítulos anteriores não foram escritos com a intenção de se fazer um resumo pedológico, resumo este que o leitor encontrará melhor nos proprios livros de Pedologia. Aqui, quízemos salientar os traços mais importantes do papel que os solos desempenham na Fitoecologia, papel esse encarado do modo como se apresenta aos olhos de um botânico.

Os pedólogos, quando orientados ecologicamente, apresentam os solos como uma condição de vida para as plantas. A vegeta-

ção — ou a falta desta — pode ser, entretanto, muitas vezes, a condição para a existência de certos tipos de solo.

* * *

Ao terminar a 2.^a parte e, com esta, a apresentação geral dos fatores ecológicos, desejamos repetir os nossos agradecimentos a todos que nos prestaram o seu valioso auxílio, especialmente aos Srs. Drs. Theodureto de Camargo, F. Hackemann, C. Silberschmidt e Luciano J. de Moraes que nos auxiliaram com indicações e fornecimento de bibliografia, e ao Sr. Dr. Mario G. Ferri, D. Mercedes Rachid e D. Maria Ignez da Rocha e Silva, que dedicadamente colaboraram na preparação do texto.

Não queremos esquecer as Casas Editoras indicadas no texto, que nos forneceram material de ilustração e, finalmente, a Tipografia que não se cansou em atender aos nossos desejos.

RESUMO

Este trabalho é o segundo da série iniciada no Boletim anterior (1943) com o fim de reunir os fatos ecológicos mais importantes que influem sobre a vegetação em regiões tropicais e subtropicais como as do Brasil. Como as apresentações existentes de Ecologia se baseiam geralmente em observações de climas temperados, o autor teve a intenção de documentar detalhadamente os vários aspectos que distinguem a ecologia tropical, ao passo que os pontos já conhecidos foram brevemente resumidos.

Os primeiros capítulos apresentados neste Boletim terminam a 1.^a parte correspondente aos Fatores climatológicos. No capítulo *Luz* foram salientadas as particularidades da iluminação solar nos trópicos e os seus efeitos sobre a assimilação e a periodicidade (fotoperiodismo) da vegetação.

Os outros fatores climatéricos (O_2 , CO_2 , vento) foram tratados resumidamente, faltando-nos dados distintivos importantes para a nossa vegetação.

A parte II apresenta as condições dos solos tropicais como o Botânico deve encará-las. Para a Ecologia tropical importa, de um lado, a grande rapidez com a qual se processa a decomposição da rocha *mater*, produzindo solos muito profundos. De outro lado, a decomposição origina solos que também qualitativamente diferem muito dos solos em climas temperados.

O lado qualitativo do problema foi estudado nos primeiros capítulos da parte II. Os últimos capítulos desta segunda parte dedicam-se principalmente ao comportamento da água, que, pela grande profundidade dos solos nos trópicos, toma uma feição especial. Foram apresentados dados para mostrar que as chuvas estivais podem ser armazenadas em grande quantidade. Os reservatórios invisíveis de água, assim formados, são da maior

importância para a vegetação, cujo comportamento aliás só pôde ser compreendido mediante estudos sobre a rizosfera das plantas. Tais estudos, feitos por este Departamento nas regiões consideradas como as mais secas do País (campos cerrados), mostram que a vegetação aí, tida geralmente como xerofítica, não carece de água no apogeu da seca, desde que suas raízes possam atravessar os dois ou três primeiros metros de solo, que são os únicos atingidos pela seca.

A possibilidade de acúmulo de tantas reservas de água pôde ser de grande importância em todas as regiões tropicais úmidas; no Brasil meridional a existência de tanta umidade acessível às plantas na profundidade dos solos de campos aparentemente áridos comprova que a vegetação atualmente existente não corresponde às condições naturais e não representa o climax para a região. A escassez da vegetação, deve-se, não á falta de água, mas às queimadas anuais. É difícil pronunciarmo-nos agora sobre qual seria aí o verdadeiro estado climax da vegetação, por não dispormos ainda de observações e experiências neste sentido.

Como conclusão pratica mais importante foi salientado que a deterioração dos solos de climas quentes e úmidos se deve principalmente a duas causas: 1.º) — a profundidade dos solos é tão grande que, muitas vezes, o contacto entre a rizosfera e a rocha mater é interrompido; como consequência disso, a lixiviação grande não é mais contrariada pela ação das plantas; 2.º) — a qualidade das argilas formadas em regiões quentes e úmidas, caracterizadas pelo seu fraco poder adsorvente, bem como a escassez do humus, não permitem retenção dos íons dos sais necessários.

Como consequência prática vê-se que o melhor meio de combate á deterioração das terras seria a adubação verde; esta não só protege os solos contra a erosão e a lixiviação, mas, se aplicada com plantas de raízes profundas, pôde restituir às camadas superficiais os sais retirados da profundidade.

SUMMARY

This paper is the second of a series initiated in the preceding Bulletin (N.º 3, 1943), trying to assemble the most important ecological facts related with tropical and subtropical vegetation like that of Brasil. As the existent presentations of Ecology generally are based on observations and experiences of temperate climates, it was our purpose to give a detailed account of the various aspects that distinguish the tropical ecology. Facts already well known were briefly dealt with.

The first chapters of the present article finish up the I. part, concerned with the climatological factors. In the chapter on light were emphasized the peculiarities of the distribution of light in the tropics and its effects on assimilation and periodicity (pho-

toperiodism) of plants. The other climatic factors (O_2 , CO_2 , wind) were considered briefly, on account of the lack of distinctive data on tropical vegetation.

Part II presents the conditions of tropical soils as a botanist sees them. In tropical ecology, on one side, the great rapidity of decomposition of bed rock, is important, developing soil layers of great depth. On the other hand the decomposition creates soils that qualitatively too, are much different from soils in temperate climate. The qualitative aspect of the problem was considered in the first chapters of part II.

The last chapters deal specially with water behavior which, due to the depth of the tropical soils, shows special features. New observations given by the author show that the summer rains can be stored in great quantities. Thus is formed an invisible water reserve of the greatest importance for the vegetation; the role of this water can be understood only by researches on the root systems of the plants. Such studies were undertaken by this Department in the regions considered as the driest of the country (campos cerrados). They show that the vegetation there, generally called xerofitic, does not lack water even in the climax of the dry season, provided that the roots pass through the first two or three meters of the soil, which are the only ones affected by the drought.

The possibility of such a great storage of water can be very important in all the humid tropical regions. In southern Brasil the existence of so much water accessible to the plants, in the deep layers of soils of apparently arid fields proves that the vegetation encountered does not correspond to the natural conditions and does not represent the regional climax. The scarcity of the vegetation does not result from scarcity of water, but is a consequence of the annual burning off of these lands. What should be the real climax of the vegetation can not yet be predicted, in view of the lack of data and observations on the subject.

The chapters on soil allow the important conclusion that the rapid deterioration of the soil in hot and humid climates is due principally to two causes: 1) — the depth of soils is so great that frequently the contact between the root systems and the bed rock is interrupted; in consequence of this, the great leaching is not counteracted by the activity of the plants; 2) — the clays formed in these hot and humid climates are characterized by a very poor adsorption power, which does not allow the retention of the ions of the necessary minerals. Scarcity of humus acts in the same way.

As a practical consequence it results that the best way to control soil deterioration would be green manure; this would not only protect the soils against erosion and leaching, but if plants are chosen with deep root systems, these could return to the superficial layers the minerals absorbed from greater depth.

BIBLIOGRAFIA

- 1 — ANDREWS, F. W. — 1940 — A study of nutt grass (*Cyperus rotundus* L.) in the cotton soil of Gezira. — *Annals of Botany*, N. S., vol. IV, 13.
- 2 — BACKHEUSER — 1926 — Breve noticia sobre a geologia do Distrito Federal. An. Estatística Cid. Rio de Janeiro, Vol. 5, 1.
- 3 — BAVER, L. D. — 1940 — Soil physics — New York.
- 4 — BAVER, L. D. — 1942 — Retention and movement of soil moisture — *Hydrology*, p. 364.
- 5 — BENECKE, W. und JOST, L. — *Pflanzenphysiologie*, I, 4a. ed. — Jena.
- 6 — BENNET, H. H. — 1939 — Soil conservation. New York.
- 7 — BETIM, A. — 1930 — O tectonismo da Serra do Mar. — *An. Acad. Bras. Cienc.*, 2, p. 147.
- 8 — BIRAND, H. A. — 1938 — Untersuchungen zur Wasseroekologie der Steppenpflanzen bei Ankara. — *Jahrb. f. wiss. Bot.*, 87, 1, p. 93.
- 9 — BLANCK, E. — 1930 — Die Mediterranroterde (terra rossa). in Blank, E. — *Handbuch der Bodenlehre*, III, p. 194 — Berlin.
- 10 — BLANCK, E. — 1930 — Krustenboden, in Blank, E. — *Handbuch d. Bodenlehre*, III, p. 352.
- 11 — BRANNER, J. C. — 1896 — Decomposition of rocks. — *Bull. Geolog. Soc. America*, 7, 255.
- 12 — BRANNER, J. C. — 1902 — Geology of the North-east coast of Brazil. — *Bull. Geolog. Soc. America*, 13, 41.
- 13 — BRASS, L. J. — 1941 — The 1938/39 expedition on the snow mountains, of Netherlands' New Guinea. — *Journ. Arnold Arboret.*, XXII, 3.
- 14 — BRAUN-BLANQUET, J. und JENNY, H. — 1926 — Vegetationsentwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe der Zentralalpen. — *Neue Denkschrift Schweiz. Naturf. Ges.* 63, 175.
- 15 — BRIGGS, L. J. and SHANTZ, H. L. — 1912 — The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. — *U. S. Dept. Bur. Plant Industry*, Bull. 230.
- 16 — CALDWELL, I. S. — 1913 — The relation of environmental conditions to the phenomenon of permanent wilting in plants. — *Physiol. Res.* 1, 1.
- 17 — CAMARGO, T. e VAGELER, P. — 1936/37 — Analyse de solos, I e II — *Bols. Técnicos ns. 24 e 31 do Inst. Agron. de Campinas.*
- 18 — CAMARGO, T. e VAGELER, P. — 1938/40 — Os solos do Estado de São Paulo. I, II, III — *Bols. Técnicos ns. 31, 40 e 70 do Inst. Agron. de Campinas.*
- 19 — CAMARGO, T. e CORREA DE MELLO, P. — 1928 — Vergleichsstudium ueber Saturationszustand und die austauschbaren Basen der roten Erde im Urzustand und in 30 jaehriger Kaffeekultur. — *Die landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen*, pag. 189. Berlin.
- 20 — CAVALCANTI, J. — 1941 — Geografia urbana e sua influência sobre o saneamento das cidades. — *Rev. Bras. Geografia*, III, n.º 1.

- 21 — CHAPMAN, V. J. — 1938 — Studies in salt marsh-ecology. *Ecology*, 26, 144.
- 22 — CHAVANNE, J. — 1879 — Die Sahara — Viena.
- 23 — CLARKE, F. — 1920 — The data of Geochemistry. — United States Geological Survey, Bull. 695, 4a. ed..
- 24 — CONSIGNY, A. — 1937 — L'avenir économique de nos possessions d'Outre-Mer compromis par les feux de brousses, de savane et de forêt. — *Rev. de Bot. Appliquée et d'Agriculture tropicale*, 17, n. 187.
- 25 — CRANDALL, R. — 1923 — Geografia, geologia, suprimento d'água, transportes e açudagem. — Publicação n. 4, Série I.D.E. — Insp. Fed. Obras contra Secas. — Ministério da Viação.
- 26 — CUNHA FREIRE, S. L. — 1941 — A erosão dos solos. — São Paulo, Diretoria de Publicidade Agrícola — Secretaria da Agricultura. São Paulo.
- 27 — DANKELMAN, von — 1884 — Die Bewoelkungsverhaeltnisse des suedwestlichen Afrikas. — *Meteorol. Zeitschrift*, 1884, p. 301.
- 28 — DUSEN, P. — 1909 — Beitrage zur Flora des Itatiaya. — *Ark.f. Bot.*, vol. 8, n.º 7.
- 29 — ENDELL, K. — 1937 — Pesquisa radioscópica de argilas e sua importância técnico-econômica. — *Bol. techn. n.º 31 do Inst. Agronom. de Campinas*.
- 30 — FEHER, D. — 1938 — Untersuchungen ueber die biodynamischen Grundlagen der Bodenatmung. — *Zeitschrift für Forst und Jagdwesen*, Jahrg. LXX, H-2.
- 31 — FERRI, M. G. — 1943 — Observações sobre Lagoa Santa. — *Ceres*, 4, n.º 21 — Viçosa.
- 32 — FERRI, M. G. — 1944 — Transpiração de plantas permanentes dos "Cerrados". — *Bols. Fac. Fil. Cienc. e Letras, Botânica*, n.º 4.
- 33 — FRAZIER, J. W. — 1943 — Nature and rate of development of root system of *Convolvulus arvensis*. — *Bot. Gaz.* 104, nr. 3, p. 417.
- 34 — FRENGUELLI, J. — 1940 — Fitogeografia argentina. — Publicaciones del Museo de La Plata, n.º 2. La Plata.
- 35 — GOLDSCHMIDT, V. M. — 1934 — Geochemie, in *Handwoerterbuch der Naturwissenschaften.*, IV, 868. 2a. ed.
- 36 — HANN, J. — 1898-1911 — *Handbuch der Klimatologie*, 3a. ed. Stuttgart.
- 37 — HANSTEEN CRANNER, B. — 1922 — Zur Biochemie u. Physiologie der Grenzschichten lebender Pflanzenzellen. *Meld. fr. Norges Landbrukshoiskole*, 2.
- 38 — HARRASSOWITZ, H. — 1930 — Boeden der tropischen Regionen — in E. Blanck, *Handbuch d. Bodenlehre*, III. — Berlin.
- 39 — HARDY, F. — 1942 — The soils of South America. — *Chron. Bot.* VII, 5, pag. 211.
- 40 — HEDIN, S. — 1909 — Transhimalaja, I, II. — Leipzig.
- 41 — HEIDE, F. — 1933 — Eruptivgesteine, pneumatolytische Gesteine. *Handw. der Naturwissenschaften*, III, pag. 809. 2a. ed.
- 42 — HOEHNE, F. C. — 1930 — Araucarilandia. — *Dir. Publicidade da Secretaria da Agricultura de São Paulo*.
- 43 — HOAGLAND, D. R. and BROYER, T. L. — 1934 — Symposium of the American Association for the Advancement of Science. — Berkeley, California.
- 44 — HUBER, B. — 1934 — Wasserumsatz und Stoffbewegungen. — *Fortschr. der Bot.*, 3, p. 95.

- 45 — IHERING, H. von — 1907 — A distribuição de campos e matas no Brasil. — Rev. Museu Paulista, vol. 7, 125.
- 46 — JACOB, A. — 1932 — Der Basenhaushalt des Ackerbodens — Journal f. Landwirtschaft, 80, H. 4.
- 47 — JARVIS, C. S. — 1942 — Floods — in Hydrology, pag. 531, New York and London.
- 48 — JENNY, H. — 1929 — Relation of temperature to the amount of nitrogen in soils. — Soil Sci., 27, nr. 3, 168.
- 49 — JENNY, H. — 1941 — Factors of soil formation. — New York and London.
- 50 — JENNY, H. — 1942 — Base exchange in soils and in disperse systems. — Chronica Bot., VII, n.º 2, p. 67.
- 51 — KATZER, F. — 1933 — Geologia do Est. do Pará — Bol. Museu Goeldi, IX, 1.
- 52 — KLEEREKOPER, H. — 1941 — Estudo limnológico da bacia do rio Mogi-Guassú, I. — Div. Caça e Pesca. Ministério da Agricultura.
- 53 — KNOCHE, W. — 1937 — Der Einfluss von Vegetationsbraenden auf die Witterung. — Meteorol. Zeitschrift, H. 7.
- 54 — LAATSCH, W. — 1938 — Dynamik der deutschen Acker-und Waldboeden. — Dresden.
- 55 — LAING, H. E. — 1940 — The composition of the internal atmosphere of Nuphar Advenum and other water plants. — Am. Journ. Bot. 27, 861.
- 56 — LAMEGO, A. R. — 1936 — O maço do Itatiaia e regiões circundantes. Serv. Geol. e Mineralógico, Bol. 88.
- 57 — LANE POOLE — 1925 — Forest resources of Papua and New Guinea, 65, 66.
- 58 — LINDMAN, C. A. M. — 1906 — A vegetação no Rio Grande do Sul — Porto Alegre.
- 59 — LOEFGREN, A. — 1890 — Contribuições para a botânica paulista. Região campestre. — Bol. Com. Geogr. e Geolog. do Est. de São Paulo, n.º 5.
- 60 — LOEFGREN, A. — 1898 — Ensáio para uma distribuição dos vegetais dos diversos grupos florísticos no Est. de São Paulo. Bol. Com. Geogr. e Geolog. do Est. de São Paulo, n.º 11.
- 61 — LÜDI, W. und LUZZATO, G. — 1934 — Vergleichende Untersuchung zweier Methoden zur Physikalischen Bodenanalyse. Ber. u. d. Geobot. Forschungsinstitut Ruebel in Zurich, f. d. Jahr. 1934.
- 62 — LUND, P. W. — 1835 — Bemærkingen over Vegetationen paa de indre Hogsletter af Brasilien, isaer i plantehistorisk Henseende Kgl. Danske Videnskab Selsk. Skrifter, VI, p. 145.
- 63 — LUNDEGARDH, H. — 1930 — Klima und Boden. — 2.a ed. Jena.
- 64 — LUNDELL, C. L. — 1942 — The vegetation and natural resources of British Honduras. — Chronica Bot., 7, H. 4, 169.
- 65 — MAACK, R. — 1941 — Algumas observações a respeito da existência e da extensão do arenito superior São Bento ou Caiuá no Estado do Paraná. — Arquivos do Museu Paranaense. Vol. 1.
- 66 — MAGARINOS TORRES, F. E. — 1936 — Contribuição para o Estudo Hydrométrico do rio Parahyba do Sul (Parte I e II) — Diretoria de Estatística da Produção, Minist. Agricultura.
- 67 — MARTONNE de, E. — 1909 — Traité de Géographie Physique.
- 68 — MATTSON, S. — desde 1929 — The laws of soil colloidal behavior. Soil Science, 28, 179 e segs.

- 69 — MATTHEI, A. — 1935 — Uebersichtskarte der Bodentypen Brasiliens. — *Ern. d. Pfl.* 31 pag. 75.
- 70 — MAULL, O. — 1930 — Vom Itatiaia zum Paraguay — Leipzig.
- 71 — MAXIMOV, N. A. — 1935 — The plant in relation to water. Londres, 2a. ed.
- 72 — MAXIMOV, N. A. — 1938 — Plant Physiology. — New York e Londres.
- 73 — MEINZER, O. E. — 1927 — Plants as indicators of ground water. — U. S. Geol. Survey, Water Supply Paper 577.
- 74 — MEINZER, O. E. — 1942 — Ground water — Hydrology, II, p. 385.
- 75 — MELIN, E. — 1925 — Untersuchungen ueber die Bedeutung der Baummykorrhiza. — Jena.
- 76 — MELLO BARRETO, H. L. — A flora do Canga na Serra do Rola Moça (trab. apres. ao IX Congresso de Geografia em Florianópolis em 1940, em vias de publicação).
- 77 — MICHELMORE, A. P. G. — 1939 — Observations on tropical African Grasslands. — *Journ. Ecology*, 27, 282.
- 78 — MORAES REGO, L. F. — 1935 — Considerações preliminares sobre a gênese e a distribuição dos solos no Est. de São Paulo. Geografia — ano I, n.º 1, pag. 10.
- 79 — MORAES REGO, L. F. — A Geologia do Estado de São Paulo. Boletim D.E.R., S. Paulo, III, 2 e segs.
- 80 — MORAES REGO, L. F. — 1938 — Contribuição para o estudo dos granitos da Serra da Cantareira. — Bol. 18 do Inst. Pesq. Technol. de São Paulo.
- 81 — MORAES, L. J. de, — 1924 — Serras e Montanhas do Nordeste. Publ. n.º 58, Serie I. D. Insp. Fed. de Obras Contra as Secas. Minist. Viação.
- 82 — MORTENSEN, H. — 1930 — Die Wuestenboeden — *in* Blanck, E. — *Handbuch der Bodenlehre*, vol. 3, p. 352.
- 83 — MYERS, J. G. — 1936 — Savannah and forest vegetation of the interior Guiana plateau. — *Journ. Ecology*, 24, 162.
- 84 — NEEDROW, W. W. — 1937 — Studies on ecology of roots. *Ecology*, 18, 27.
- 85 — OLIVEIRA, G. M. de A. — 1940 — Salitre no Piauí — Bol. 47, Dep. Nacional da Prod. Mineral — Minist. Agricultura.
- 86 — OLIVEIRA, E. — 1930 — Solos — *An. Acad. Bras. Cienc.*, 2, pag. 227.
- 87 — OLMSTED, CH. E. — 1937 — Vegetation of certain sand plains of Connecticut. — *Bot. Gaz.* 99, 2, pag. 209.
- 88 — PARODI, L. R. — 1939 — Porqué no existen bosques naturales en la llanura bonaerense si los arboles crescen en ella cuando se los cultiva? — *La Prensa de Buenos Aires*, 18 de Junio, 1939, cit. por Frenguelli.
- 89 — PAVLICHENKO, T. K. — 1937 — Quantitative study of the entire root systems of weed and crop plants under field conditions. *Ecology*, 18, 1.
- 90 — PULLE, A. A. — 1938 — Exploração Botânica de Surinam — *An. 1.º Congr. Sul-Am. Bot.* I, p. 239.
- 91 — RAMANN, E. — 1911 — *Bodenkunde*, 3a. ed. Berlin.
- 92 — RAWITSCHER, F. — 1942 — Problemas de Fitoeecologia com considerações especiais sobre o Brasil Meridional. — *Bols. Fac. Fil. Cienc. e Letras, Botânica* n.º 3.
- 93 — RAWITSCHER, F., FERRI, M. G. e RACHID, M. — 1943 — Profundidade dos solos e vegetação em campos cerrados do Brasil Meridional. — *An. Acad. Bras. Cienc.*, XV.
- 94 — RICH, J. L. — 1942 — The face of South America. — New York.

- 95 — ROMELL, L. G. — 1922 — A ventilação do solo como fator ecológico (em sueco, com resumo extenso em alemão). Meddelanden Fran Statens Skogsforsöksanstalt, H. 19, n.º 2.
- 96 — ROMELL, L. G. — 1935 — Ecological problems of the humus layer in the forest. Cornell University Agric. Exp. Stat. Memoir. 170.
- 97 — ROTMISTROFF, W. G. — 1926 — Das Wesen der Duerre. — Dresden.
- 98 — SCAETTA, H. — 1936 — La genèse climatique des sols montagnards de l'Afrique Centrale. Les formations végétales qui en caractérisent les stades de dégradation. — Mém. Inst. Roy. Col. Belge, Sect. Scienc. Nat. et Méd. Coll. in 4.º, 5, fasc. 1.
- 99 — SCHIMPER, A. F. W. — 1898 — Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. — Jena, Ed. inglesa, Oxford, 1903.
- 100 — SCHIMPER, A. F. W. — 1935 — Idem, idem — 3.a ed. alemã, por Faber. — Jena.
- 101 — SCHMIEDER, O. — 1927 — The pampa, a natural or culturally induced grassland? Univ. Calif. Public. in Geography, II, 8, 255, cit. por Frenguelli.
- 102 — SCOTT, J. D. — 1934 — Ecology of certain plant-communities of the central province, Tanganyika Territory. — Journ. Ecology, 22, 177.
- 103 — SEKERA, F. — 1932 — Die Nutzbarkeit des Bodenwassers f.d. Pflanze. — Zeitschr. f. Pflanzen Ernaehrung u. Duengung, A 26, 27.
- 104 — SETZER, J. — 1941 — Os famosos millicivalentes. — Rev. Agr., XVI, ns. 5-6.
- 105 — SETZER, J. — 1941 — As características dos principais solos do Est. de São Paulo. — Bragantia, I, 4.
- 106 — SETZER, J. — 1941 — Levantamento Agro-Geológico do Est. de São Paulo.
- 107 — SHAW, E. B. — 1936 — The New Foundland Forest Fire of August 1935. — Monthly Weather Review, 1936, p. 171.
- 108 — SILVEIRA, A. A. da — 1923 — Fontes, chuvas e florestas. Belo Horizonte.
- 109 — SMALL, H. L. — 1923 — Geologia e supprimento dagua subterranea no Piauhy e parte do Ceará. — Insp. Fed. de Obras contra as Secas, Publ. n.º 32, Serie I. D., Minist. Viação.
- 110 — SMALL, H. L. — 1923 — Geologia e supprimento dagua subterranea no Ceará e parte do Piauhy. — Insp. Fed. de Obras contra as Secas, Publ. n.º 25, Serie I. D., Minist. Viação.
- 111 — SOPPER, R. H. — 1923 — Geologia e supprimento dagua subterranea no Rio Grande do Norte e Parahyba. — Insp. Fed. de Obras contra as Secas, Publ. n.º 26, Serie I. D., Minist. Viação.
- 112 — SOPPER, R. H. — 1923 — Geologia e supprimento dagua subterranea em Sergipe e no Nordeste da Bahia. — Insp. Fed. de Obras contra as Secas, Publ. n.º 34, Serie I. D., Minist. Viação.
- 113 — STALFELT, M. G. — 1937 — Die Bedeutung der Vegetation im Wasserhaushalt des Bodens (Svenska Skogsvardsfoer. Tidskr. 161) — referido em Fortschritte der Botanik, 7, 255, 1937/38.
- 114 — STEENIS, van, C. G. G. J. — 1936 — Cycles of Drought and Reafforestation in the U. S. A. seen in the light of a new bo-

- tanical hypothesis on the origin of deserts in general. — Bull. Jard. Bot. Buitenzorg, III, 14, 50.
- 115 — TAYLOR, L. D. — 1942 — Influence of oxygen tension on respiration, fermentation and growth in wheat and rice. — Am. Journ. Bot., 29, 721.
- 116 — TERZAGHI, K. — 1942 — Groundwater and soil moisture — Hydrology, p. 331.
- 117 — THOMAS, A. S. — 1942 — Ecological factors and indicator plants in tropical Africa. — Chronica Botanica, VII, 71.
- 118 — TREWARTHA, G. T. — 1937 — An introduction to Weather and Climate. — New York.
- 119 — VAGELER, P. und ALTEN, F. — 1931 — Boeden des Nil und Gash, — Zeitschr. f. Pflanzenernaer., Duengung u. Bodenkunde, 21
- 120 — VAGELER, P. — 1932 — Der Kationen- und Wasserhaushalt des Mineralbodens. — Berlin.
- 121 — VAGELER, P. — 1936 — Relatório anual de 1935 da Seção de Solos do Inst. Agronom. de Campinas.
- 122 — VAGELER, P. — 1938 — Pontos de vista fundamentais para o levantamento agro-geológico do Est. de São Paulo.
- 123 — VAGELER, P. — 1938 — Grundriss der Tropischen und Subtropischen Bodenkunde, 2a. e. — Berlin.
- 124 — WAKSMAN, S. A. and IYER, K. R. N. — 1932 — Contribution to our knowledge of the chemical nature and origin of humus, I, II. — Soil Science, 34, pags. 43 e 71.
- 125 — WALTER, H. — 1939 — Grasland, Savanne und Busch der ariden Teile Afrikas in ihrer oekologischen Bedingtheit. — Jahrb. f. wissenschaftl. Botanik, 87, H. 5, p. 95.
- 126 — WARING, G. A. — 1912 — Supprimento dagua no Nordeste Brasileiro. — Publ. 23, Serie I. D., Insp. Fed. Obras contra as Secas. — Minist. Viação.
- 127 — WARMING, E. — 1909 — Lagoa Santa (trad. por Loefgren, A.). — Belo Horizonte.
- 128 — WARTH, H. — 1905 — Geol. Mag., in Meigen, W. — Geol. Rdsch. 2, 202, 1911.
- 129 — WASHBURNE, Ch. W. — 1930 — Petroleum Geology of the State of São Paulo. — Bol. 22, Com. Geografica e Geol. do Est. de São Paulo. (Trad. para o portuguez em 1939).
- 130 — WEAVER, J. E. and CLEMENTS, F. E. — 1938 — Plant Ecology. — 2a. ed., New York e Londres.
- 131 — WEINSCHENK, E. — 1924 — Petrographisches Vademekum. — Freiburg.
- 132 — WENT, F. W. — 1943 — The regulation of plant growth. — American Scientist, 31, 3.
- 133 — WETTSTEIN, R. R. v. — 1904 — Vegetationsbilder aus Suedbrasilien. — Leipzig e Viena.
- 134 — WHITE, W. N. — 1932 — A method of estimating groundwater supplies based on discharge by plants and evaporation from soil. — U. S. Survey, Water-Supply Paper 659-A.
- 135 — WIESSMANN, H. — 1926 — Agrikulturchemisches Praktikum. — Berlin.