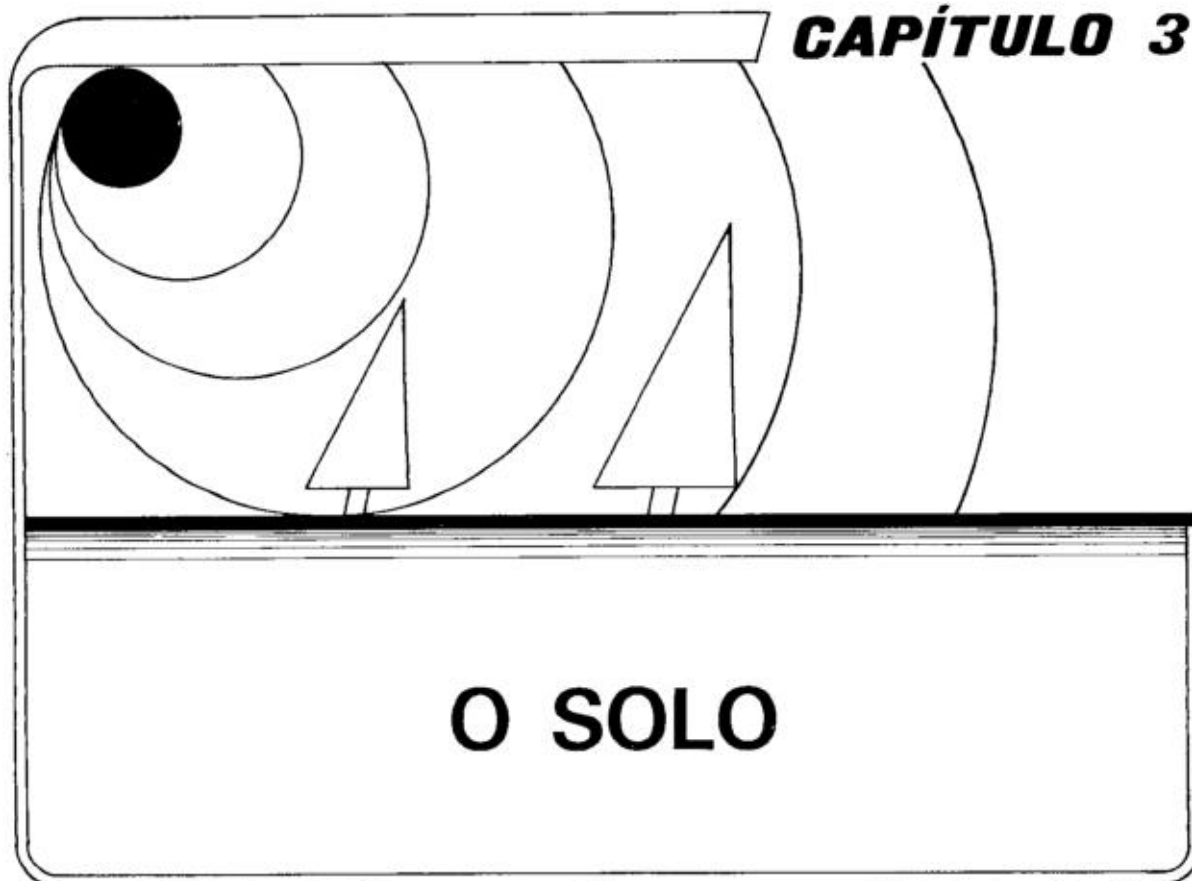




1. A PARTE MINERAL

Não há dúvida que a planta vive em parte no solo e em parte no ar. Nenhuma parte pode subsistir sem a outra, e o bem-estar da parte aérea, isto é, das folhas, flores e frutos é tão importante como o bem-estar da parte terrestre, isto é, da raiz.

A raiz retira do solo água, nutrientes e parte do oxigênio, a folha capta do ar, gás carbônico e energia. O início da formação de muitos aminoácidos e substâncias vegetais se processa na raiz, ou mais precisamente, no colo da raiz. A formação final de proteínas é feita na folha. (fig. 3.1)

Por muito tempo esqueceu-se do solo e esqueceu-se da raiz, porque se olhava somente a parte vistosa da planta. A parte escondida não era considerada. Esta, automaticamente, tinha que estar em ordem e o que não funcionava era simplesmente a parte vegetal aérea. Ninguém considerou que a planta é um todo, e que os problemas da planta visível poderiam ser originários da raiz. Quem não conhece as árvores tortuosas do cerrado onde cada torcedura do tronco e galhos corresponde a uma da raiz e onde a pobreza de vegetação é devida à pobreza do solo ou, melhor, à impossibilidade da raiz em nutrir-se adequadamente?

Do solo necessitamos que:

1. permita um bom desenvolvimento da raiz;
2. tenha o suficiente em nutrientes para a planta;
3. conserve a maior quantidade de água disponível à planta;
4. seja suficientemente arejado;
5. não contenha substâncias tóxicas, prejudiciais à raiz.

Em vista disso, formou-se uma concepção de solo, em clima temperado, de onde importamos nossas técnicas, e onde predominava a luta para poder produzir

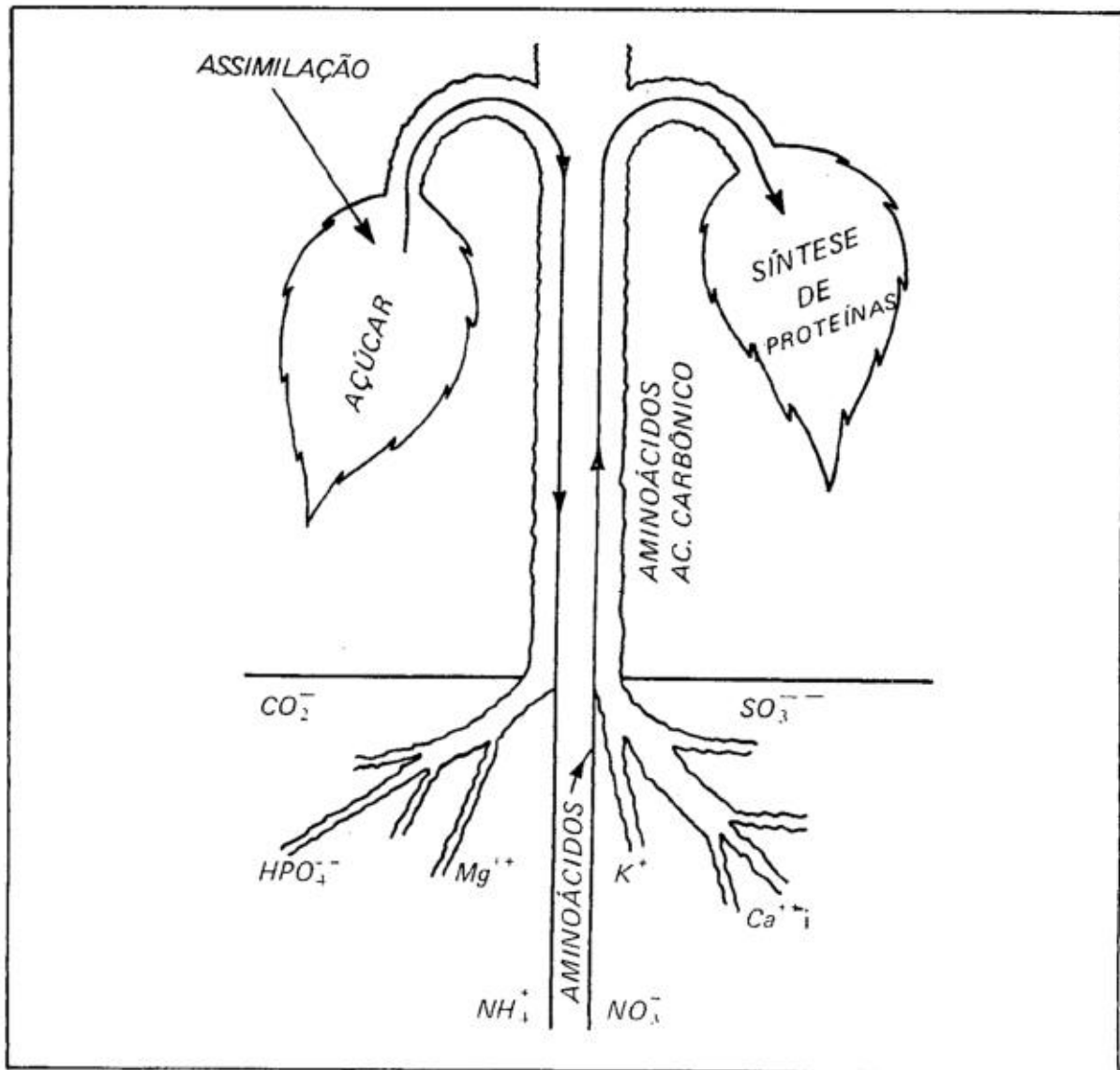


Fig. 3.1 Importância da raiz na síntese de substâncias orgânicas. (Mengel, 1965)

apesar das épocas frias com gelo e neve, de pouca insolação e de temperaturas baixas.

Com muita arte e técnicas penosamente desenvolvidas, conseguiu-se produzir colheitas altas, apesar de todas as adversidades climáticas, (13, 71) e, atualmente, chegar a uma superprodução.

Portanto, numa ilógica flagrante, conclui-se que: o que ajudou a desenvolver os países atualmente ricos e economicamente desenvolvidos, (em clima temperado), tem de ser ótimo para os países pobres ainda em desenvolvimento tecnológico, (em clima tropical). Mas para a maior decepção, os solos tropicais e subtropicais não reagiram favoravelmente às técnicas dos países com economias avançadas. Simplesmente, tornavam-se improdutivos e tinham de ser abandonados temporariamente.

Para fins de manejo, normalmente, toma-se o solo "tropical" como sendo um solo de clima temperado, somente mais pobre e situado em clima mais quente. Mas, que funcionam em sistemas diferentes e que um ecossistema tropical não tem nada a ver com outro em clima temperado, isso escapou, por enquanto, aos "ajudantes de desenvolvimento", que os países ricos tão generosamente mandaram para os países "pobres".

Quadro 3.1 *Quadro comparativo de solo:*

tropical (predomina caulinita)		temperado (predomina montmoril.)
mais profundo,	- 1-	mais raso
mais intemperizado,	- 2-	menos intemperizado,
baixa capacidade de troca de	- 3-	elevada capacidade de troca de
cátions (Ca, Mg, K, Na),		cátions
mais pobre em sílica e mais ri-	- 4-	mais rico em sílica e menos em ferro
co em alumínio e ferro (óxidos),		e alumínio
pouca fixação de K e NH ₄ ,	- 5-	apreciável capacidade de fixar K e
		NH ₄ , (28)
grande capacidade de fixar P,	- 6-	baixa capacidade de fixar P, (28)
maior capacidade de trocar ânions	- 7-	menor capacidade de trocar ânions,
(P, S, Cl, NO ₃)		
é mais ácido,	- 8-	é menos ácido,
é friável,	- 9-	é pegajoso,
possui estrutura mais grumosa	-10-	possui estrutura menos grumosa,
em estado nativo,		
decompõe rapidamente a matéria		decompõe a matéria orgânica lenta-
orgânica e raramente acumula	-11-	mente, podendo acumular húmus em
húmus,		grande quantidade,
possui uma microvida muito	-12-	possui uma microvida pouco ativa,
ativa, necessitando de sua limitação,		necessitando de sua "mobilização",
sofre facilmente de erosão por		raramente ocorre erosão, devido
causa de chuvas torrenciais	-13-	a chuvas fracas,
sofre facilmente de superaqueci-		é muito frio, necessitando ser
mento, necessitando de proteção		aquecido por insolação direta,
contra a insolação direta	-14-	
baixa capacidade de retenção	-15-	alta capacidade de retenção de
de água.		água. (28)

Como se tomou o solo "temperado" como sendo "solo padrão", concluiu-se, que o solo "tropical" é mais desfavorável nos itens onde difere do solo de regiões temperadas. Enfim, a política foi equiparar o solo das regiões tropicais ao dos temperados ou, no mínimo, tentar isso. Esta atitude é compreensível, uma vez que foram os colonos europeus que trouxeram consigo a lembrança dos solos de seus países de origem, quando trabalhavam o solo brasileiro.

Mas, ocorre que a planta reage diferentemente em clima tropical, e exige que também o solo seja diferente, adequado ao clima, para poder produzir bem. Quando o solo de zonas tropicais é aproximado ao dos temperados, a produção vegetal resiste às tentativas de medrar bem.

O SOLO DE CLIMA TROPICAL E SUA FORMAÇÃO

Sabemos que seis fatores influem sobre a formação do solo:

1. o material de origem, que pode ser uma rocha, um sedimento argiloso transportado pelo vento (*loess*) ou uma areia transportada pela água (solos aluviais);
2. o clima, destacando-se especialmente a quantidade e distribuição das chuvas e sua percolação pelo perfil do solo, e a temperatura;
3. a vegetação, que pela cobertura do solo, a matéria orgânica e permeabilidade da superfície, exerce influência decisiva (pastagem, floresta ou terra agrícola); (11, 28)

4. o tempo;
5. o relevo, que altera os fatores de insolação e penetração de água;
6. o homem, cuja influência se resume em “*fatores antrópicos*” e que na classificação se denomina “*epipedon antrópico*”.

Como o homem pode ter uma influência muito grande através das culturas, da aração, da adubação, das queimadas, enfim pelo uso e manejo do solo, acrescenta-se geralmente este sexto fator: o ser humano. (13, 15, 36, 90)

Presume-se que a formação do solo se processa muito lentamente e que as alterações levem milhares de anos. Porém, Glinka (1914) mostra que um solo florestal e um pastoril aproximam suas características dentro de dez anos, (19) quando cultivados. E um solo cultivado que for reflorestado ou utilizado como pastagem se desenvolve de maneira muito diferente, mostrando em pouco tempo características distintas, conforme a cobertura vegetal. (19) Isto se dá porque a insolação, o impacto da água sobre o solo, a estabilidade da bioestrutura, a infiltração e percolação das águas da chuva, os ácidos produzidos pelas folhas e raízes e a lixiviação de bases, os microrganismos, enfim toda a vida, química e biofísica se modificam. (85)

Podemos presumir, portanto, que a modificação do perfil de um solo pode processar-se muito mais rapidamente do que se acreditava antigamente. Temperatura e tempo determinam a velocidade da hidrólise, e precipitações e tempo a de lixiviação dos produtos solúveis da hidrólise. (28)

O MATERIAL DE ORIGEM

A rocha se desintegra pela ação da água, de microrganismos, de raízes e de temperatura. (13, 71) Se fosse somente triturada, iria render areia de grossura variável: areia grossa de 2 mm de diâmetro até a fina de 0,1 a 0,05 mm de diâmetro e, talvez ainda, o silte ou limo cuja finura pode ir até 0,002 mm. Grãos mais finos não podem ser produzidos fisicamente. As partículas ultrafinas, que são a argila, com tamanho inferior a 0,002 mm, formam-se pela dissolução dos minerais contidos na rocha e sua posterior cristalização em “escamas” finíssimas. (66, 74) Porém, o solo não tem composição idêntica à da rocha da qual se formou (15, 28, 48, 74) como mostra a fig. 3.2.

A quantidade de ions presentes na rocha não é muito indicativa para a existente no solo. Enquanto cálcio, magnésio e potássio diminuem neste solo em relação à rocha, o alumínio aumenta quatro vezes. A quantidade de ions, que finalmente aparecem na camada arável do solo, depende do clima, da capa vegetal e só em parte do material de origem. Em solos ricos em cálcio e magnésio, que não sofrem lixiviação, as argilas que se formam são montmorilonitas (27, 78) enquanto que em solos “*tropicais*”, pobres em cátions, com lixiviação forte e em presença de alta solubilidade dos silicatos e acumulação de hidróxidos de ferro e alumínio, se formam caulinitas. (13, 15, 30, 41, 50) Portanto, vale, em termos gerais, para o clima tropical, que, em terrenos onde predomina a lixiviação, as argilas predominantes são pobres e hidratadas, como a caulinita, e em terrenos onde há acumulação de cálcio e magnésio, como em baixadas, predomina a formação de argilas ricas, como a montmorilonita. (73, 86) Estas argilas são muito mais pesadas e pegajosas, mas igualmente muito mais ricas. Assim, tanto o grumossol preto da fronteira do Rio Grande do Sul como muitos solos aluviais da Amazônia são solos ricos, por causa da argila predominante ser a montmorilonita. (66) Estes solos dependem muito da manutenção de sua bioestrutura grumosa, por serem pegajosos e aderentes, opondo-se

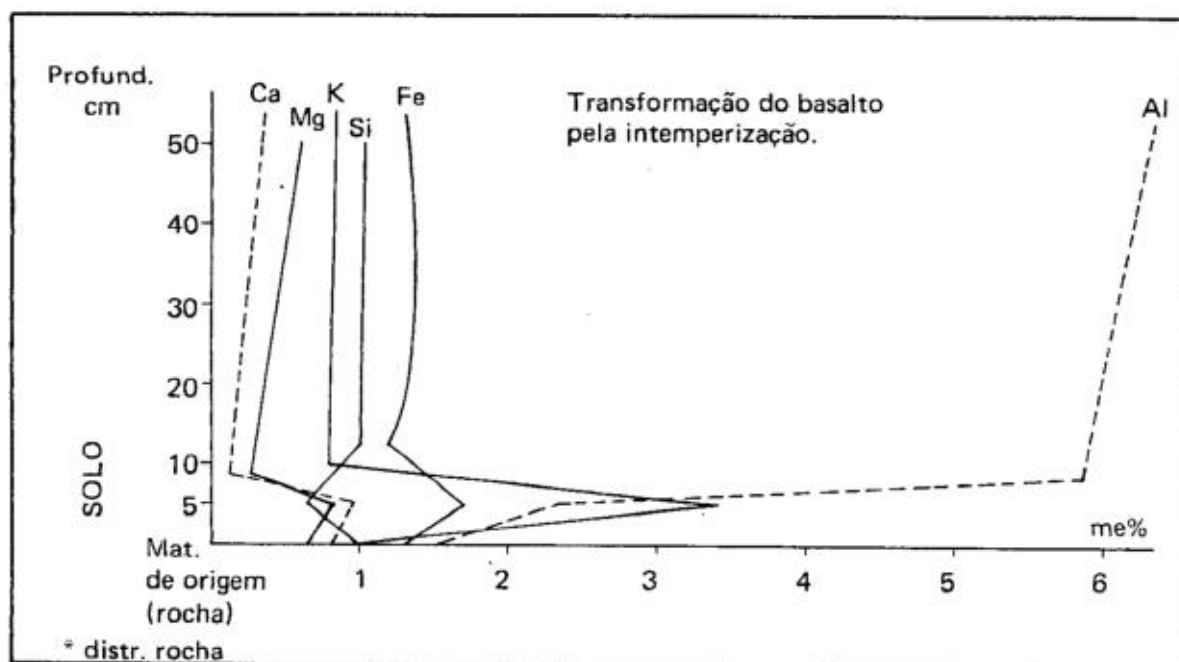


Fig. 3.2 Transformação de basalto pelo intemperismo e a modificação do teor em minerais (Mohr, 1959)

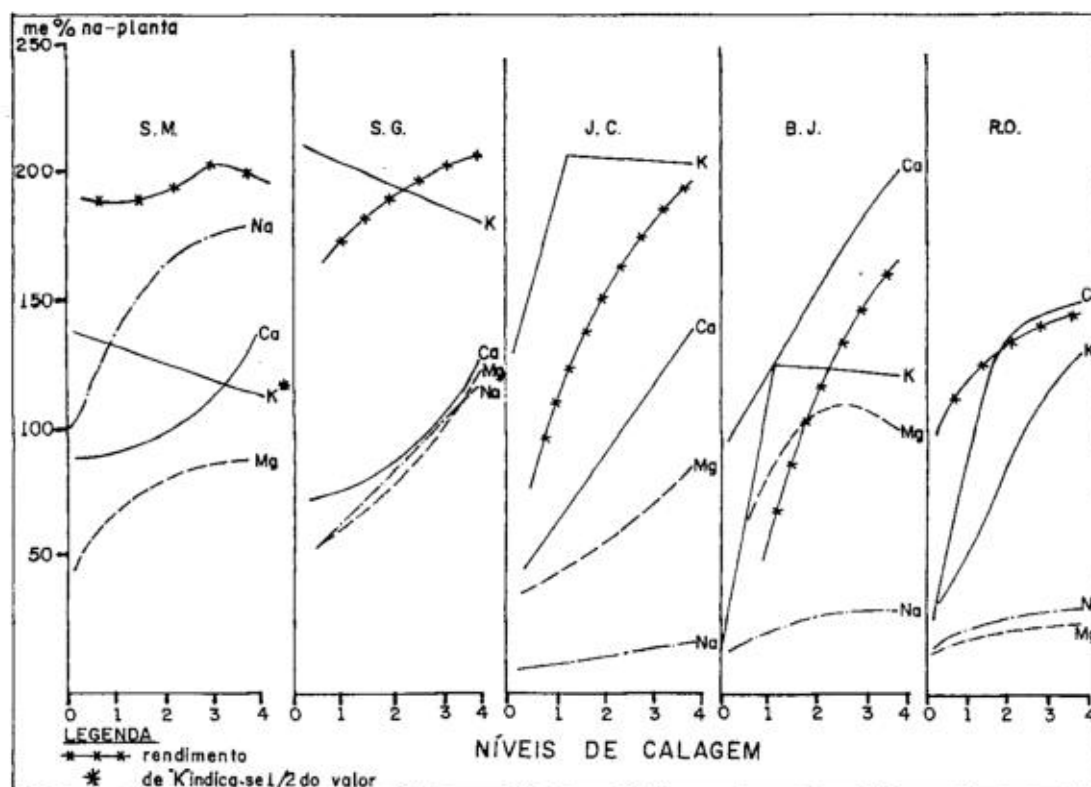
à penetração radicular se a umidade for insuficiente. Quando a bioestrutura destes solos for boa, os rendimentos serão mais seguros, especialmente quando se tratar de zonas com clima constante. (72) Assim, na Amazônia, produzem-se colheitas altas de arroz irrigado. Um ensaio com cevada no Rio Grande do Sul mostra (fig. 3.3 e quadro 3.2) que em dois solos, as plantas respondem pouco a uma calagem, apesar do alumínio trocável ser 1,88 me% no solo São Gabriel. Isto, porque a fração de argila montmorilonítica conferiu ao solo (S. G.) uma CTC maior com uma saturação de bases de 70% enquanto somente 6,8% da CTC estão saturados com alumínio. O efeito da calagem depende em parte do Al trocável, em parte da saturação da CTC com Ca^{++} e, quando esta for muito reduzida, também da elevação de cálcio disponível à nutrição vegetal.

Quadro 3.2 Características dos solos apresentados na fig. 3.3

solo	argila %	C%	CTC%	Al troc. me%	Ca me%	Mg me%	K me%
Santa Maria (S. M.) (caul. -montmor.)	29,9	1,39	15,8	1,00	6,86	3,36	0,30
São Gabriel (S. G.) (caul. -montmor.)	35,4	1,78	27,4	1,88	10,53	8,38	0,56
Júlio de Castilho (J. C.) (caul.)	43,4	1,91	15,4	2,82	1,74	3,18	0,48
Bom Jesus (B. J.) (caul.)	56,9	3,37	22,9	5,25	1,01	1,54	0,27
Rocinha (Ro. (caul.)	45,8	13,2	32,7	8,05	0,14	0,79	0,32

Embora o rendimento da cevada não tenha sido aumentado pela calagem nos solos S. M. e S. G. sua produção foi sensivelmente maior, como mostra a figura 3.3.

A absorção dos nutrientes depende não somente da espécie vegetal, da calagem e adubação, mas igualmente da unidade do solo. Nos solos com fração de argila montmorilonítica (S. M. e S. G.) a reação à calagem é diferente.



Obs.: níveis de calagem: 1 = 1 SMP, 2 = dobro da quantidade aconselhado pelo SMP etc.
Unidades do solo vide quadro 3.2

Fig. 3.3 *Rendimento de cevada em relação aos elementos absorvidos pela planta, em cinco unidades de solo no RGS. (Ben, 1974)*

Obs.: De potássio representou-se somente metade do teor.

Na caulinita, a argila mais freqüente nos solos “tropicais”, ocorre uma camada de óxido de silício ou sílica para cada de hidróxido de alumínio ou alumina (argilo mineral 1:1) em contraste com a argila montmorilonítica, mais freqüente em solos de clima temperado e em solos menos lixiviados, com sua lâmina de alumina envolvida por duas de sílica (argilo mineral 2:1) e por isso de fácil expansão.

Considerou-se uma grande desvantagem para os trópicos possuir argila caulinita em lugar de montmorilonítica uma vez que o argilo-mineral 2:1 apresenta 10 a 15 vezes mais eletrovalências negativas que o de 1:1, sendo capaz de reter e trocar muito mais cátions, como potássio (K^+), cálcio (Ca^{++}) magnésio (Mg^{++}) e outros, sempre à disposição dos vegetais. São os elementos trocáveis que formam o lastro da fertilidade do solo. (9, 71, 72)

Devido às características da argila caulinita, presente em maior ou menor quantidade na maioria dos solos “tropicais”, a capacidade de troca de cátions é muito reduzida, sendo de 2,5 a 15 me%, enquanto que as argilas montmoriloníticas possuem uma capacidade de troca entre 25 e 180 me%. (13)

Existe um estreito equilíbrio entre os ions nutritivos da fase mineral, do complexo de troca (CTC) e da solução do solo (água). O reabastecimento da solução do solo com nutrientes depende, pois, intimamente do complexo de troca.

ions inclusos na fase mineral ————— ions retidos no complexo de troca ————— ions dissolvidos na “solução” do solo

Em solo "temperado" o reabastecimento é intenso; no solo "tropical é muito fraco, devido ao complexo de troca reduzido. Isso tornou-se o problema número um nos países tropicais: a baixa capacidade de reabastecimento da solução do solo com nutrientes, que já é fraca em solo argiloso e muito fraca em arenoso. Mas, porque será que o solo tropical, geralmente, é muito mais profundo e muito melhor granulado que o solo de regiões temperadas? Não está aqui a compensação? (2, 41) É errônea a suposição de que, durante o abandono e pousio do solo, haveria acúmulo de nutrientes disponíveis em grande quantidade na solução do solo. A acumulação não pode ser maior que a capacidade de troca equivalente, devido ao equilíbrio existente. E a idéia de que a planta "esgota" o espaço enraizado do solo não é correta da maneira como se supunha. A verdade é que o espaço enraizado diminui drasticamente pelo efeito do cultivo inadequadamente conduzido, restringindo a raiz a um espaço muito menor. (53) São os adensamentos que se opõem à penetração radicular! Neste espaço reduzido, ainda passível de enraizar, e, geralmente, na camada superficial do solo, a raiz não encontra mais os nutrientes necessários que antes encontrava num volume de solo muitas vezes maior. (28, 59, 90)

O problema, pois, não é tanto a concentração dos nutrientes no solo mas o espaço que pode ser explorado pela raiz!

O pousio, abaixo de capoeira, recupera a bioestrutura do solo (91) e com isso a possibilidade de um enraizamento maior e, em parte, aumenta o complexo de troca por substâncias orgânicas humificadas, o que aumenta o reabastecimento.

O solo "tropical" é um ecossistema diferente que, por natureza, se fundamenta em sua agregação muito boa devida à riqueza em sesquióxidos. (2, 27, 37, 46, 77) Mesmo possuindo 72% de argila, quando esfregado entre os dedos, pode aparentar uma textura como se fosse um solo franco, ou seja, com teor arenoso de 40% a mais. Estes solos friáveis, argilosos, por muito tempo foram um enigma para os entendidos em solos "temperados", e a Terra Roxa legítima com sua fertilidade exuberante e sua grande resistência à erosão não pôde ser compreendida durante decênios. (41)

Porém, grumosidade e boa agregação equivalem a maior porosidade e melhor arejamento e capacidade de armazenar água útil.

Grohmann (1960) analisou três tipos de solo do Estado de São Paulo, dando os seguintes resultados:

Quadro 3.3 *Porosidade, umidade equivalente e peso real e aparente de três solos. (Grohmann, 1960)*

solo	peso específico real	peso específico aparente	porosidade		umidade equivalente/volume
			total	capilar	
Terra Roxa Legítima não cultiv.	2,88	0,94	67,4	34,4	26,3
Terra Roxa Misturada de mata	2,68	1,06	60,8	24,9	22,8
Arenito Bauru de mata	2,56	1,35	48,0	31,4	18,5

Na terra roxa a maioria dos poros capilares encontram-se na camada superficial enquanto que no arenito se encontram nas camadas mais profundas.

Verifica-se que, apesar do teor elevado de argila, a terra roxa possui menor peso específico aparente do que a areia e muito maior porosidade. E esta porosidade fundamenta-se dum lado no óxido de ferro. (77) Sabe-se hoje que a condutividade de argilas diminui com teor decrescente de ferro. (46)

Por outro lado a distribuição dos poros nos 25 cm superficiais não permite uma lixiviação rápida da terra roxa, embora facilite a infiltração de água.

Quadro 3.4

solo	poros de 0,02 a 0,1 mm	0,1 a 0,2 mm
Terra Roxa Legítima	80,1%	19,9%
Terra Roxa Misturada	77,0%	23,0%
Arenito	37,9%	62,1%

Sabe-se que a eliminação de Fe_2O_3 reduziu num latossolo a superfície específica do solo no horizonte A de 42% e no B de 25%, (23) mostrando a importância muito grande do ferro para a granulação dos solos tropicais. Porém, a agregação puramente química, mesmo possuindo certa estabilidade, ainda, em certo grau está sujeita à destruição pela ação da água. E a porosidade da terra roxa e de outros solos, como dos latossólicos, não pode ser exclusivamente química. Pela eliminação da matéria orgânica destes solos há uma redução de 26 a 29% da superfície específica do solo no horizonte A e de 10 a 12% no horizonte B. (23)

Somente quando os agregados se juntam a grumos devido a ação de ácidos húmicos ou poliurônicos, e quando são "cimentados" por vias biológicas, podem adquirir esta estabilidade surpreendente.

Os "agregados maiores" ou grumos possuem maior teor em carbono, ou seja, matéria orgânica que os menores. (53) E, quando se adiciona matéria orgânica ao solo, os "agregados" se tornam maiores. (24) Isso é de importância máxima para a produção agrícola, uma vez que a partir de determinada massa específica aparente a penetração radicular é impedida. (25)

Os grumos nos solos tropicais, geralmente são pequenos, com um diâmetro entre 0,5 e 1,0 mm (66) enquanto os citados na literatura existente, dos países temperados, possuem um diâmetro de 2 a 5 mm. Explica-se isso pela origem diferente. (15, 41, 78)

Todas argilas absorvem certa quantidade de ácidos orgânicos, formados durante a humificação de matéria orgânica, constituindo um complexo humo-argiloso. O nível de matéria orgânica destes solos não baixa além de um mínimo que lhes é próprio. (62, 66, 75).

Quando forem cultivados, o problema maior dos solos em regiões tropicais e subtropicais é que, em condições de suficiente umidade, perdem rapidamente sua matéria orgânica acima deste nível mínimo (10) e com isso perdem sua bioestrutura e suas condições de produzir. (2, 3, 59, 60, 64, 66) A restituição da matéria orgânica ao solo torna-se, pois, uma questão vital para a agricultura tropical. (Vide cap. II e IV) Com a perda de matéria orgânica decresce igualmente a CTC.

A capacidade de troca da matéria orgânica varia entre 160 e 190 até 400 e.mg/100 g que significam 1,6 a 4,0 e.mg de troca por 1% de matéria orgânica no solo. (67) E isso independentemente de uma calagem que pode aumentar a "CTC dependente do pH". (1)

Compreende-se que *a bioestrutura mais favorável e o perfil mais profundo são uma compensação para a maior pobreza em nutrientes.* (90, 92) A planta explora assim um espaço de solo maior, penetrando com as raízes até o nível freático (2), conseguindo obter quantidades de nutrientes iguais ou maiores que as obtidas pela planta em solos com maior concentração de nutrientes, porém, mais rasos e com bioestrutura menos favorável. A vantagem reside no fato de poder absorver água e nutrientes, mesmo quando a pressão osmótica da raiz for fraca, o que facilmente ocorre em clima quente. Portanto, a solução do solo menos concentrada vem de encontro às condições de zonas tropicais, como já foi explicado no capítulo anterior. (Vide, também, cap. VII)

Em concentração diferente de soluções nutritivas podemos verificar que o tamanho das plantas diferiu pouco. O que diferiu foi o tamanho radicular, maior em soluções fracas.

Quadro 3.5 *Produção de folhas e raízes em solução nutritiva de concentração diferente. (peso seco)*

solução nutritiva	planta/g	raiz/g	troca de solução em dias
A) solução normal 1 x concentrada	0,43	0,07	4
B) solução normal 2 x concentrada	0,33	0,07	4
C) solução normal 50 x diluída	0,31	0,23	4
D) solução normal 50 x diluída	0,44	0,56	2

Planta de solução normal duas vezes concentrada (B) não cresce melhor, ao contrário, sofre uma depressão no desenvolvimento em relação à planta em solução normal 1 x concentrada (A). A planta em solução 50 vezes diluída (C) sofre uma depressão quando a solução nutritiva for trocada somente de 4 em 4 dias, por haver esgotamento dos nutrientes após 60 horas (dois dias e meio). Assim, sempre ficou algum tempo sem nutrição. Porém, desde o início compensava a concentração muito mais fraca por um crescimento radicular 3 vezes maior que a da normal. E quando a solução nutritiva foi trocada de 2 em 2 dias, a planta desenvolveu-se como a da concentração normal (A) mas produziu 8 vezes mais raízes. No solo, a “troca de solução nutritiva” se dá pela penetração da raiz em espaços novos.

Isso significa que *a planta, mesmo em solo pobre, tem idênticas condições de produzir que em solo bem provido de nutrientes, desde que a raiz tenha a possibilidade de se expandir livremente.* (81, 89) Por outro lado, uma adubação maciça raramente beneficia a planta por causa de problemas de pressão osmótica, como explicamos no capítulo I. A nutrição da planta, pois, não depende tanto da concentração de nutrientes no solo, mas da possibilidade da raiz poder explorar um espaço suficientemente grande do solo. Se ela não pode avançar para alcançar os nutrientes, tendo o caminho barrado por camadas compactadas (2, 7, 58) como uma sola-de-arado ou adensamentos por sedimentação de argila lixiviada de grumos destruídos, então a planta esgota os nutrientes do espaço limitado, à sua disposição, e “sofre” de fome.

É um erro acreditar que a nutrição vegetal depende exclusivamente da concentração de nutrientes. Em clima tropical, em dias quentes, a planta nem consegue absorver duma solução de solo muito concentrada. (Vide capítulo I)

O CLIMA NA FORMAÇÃO DO SOLO "TROPICAL"

O clima faz o solo e o solo faz o clima! O clima pouco poderia agir sobre o solo se este não o facilitasse. O solo "tropical" oferece, portanto, exatamente a condição mais vantajosa à planta em clima quente: uma estrutura boa e concentração fraca de nutrientes, que, porém, não pode descer abaixo de um nível mínimo. A desvantagem que o solo "tropical" parecia possuir, em comparação ao solo de regiões temperadas, não existe!

Mas, o problema básico do solo "tropical" é uma bioestrutura que permita o livre desenvolvimento radicular e somente depois deveria ser considerada a adubação.

Segundo Wrigley (1969), *uma planta que consegue explorar um volume de solo 4 vezes maior, produz 3 vezes mais que uma planta com todos os nutrientes concentrados num volume de solo. (90)*

A ÁGUA NA FORMAÇÃO DO SOLO

Não somente a temperatura, que anima a microvida e que faz muitas enzimas mais ativas, mas especialmente a água, que percola o perfil do solo, é um dos fatores mais poderosos na formação do mesmo.

Existem, em resumo, três alternativas como mostrado na fig. 3.4.

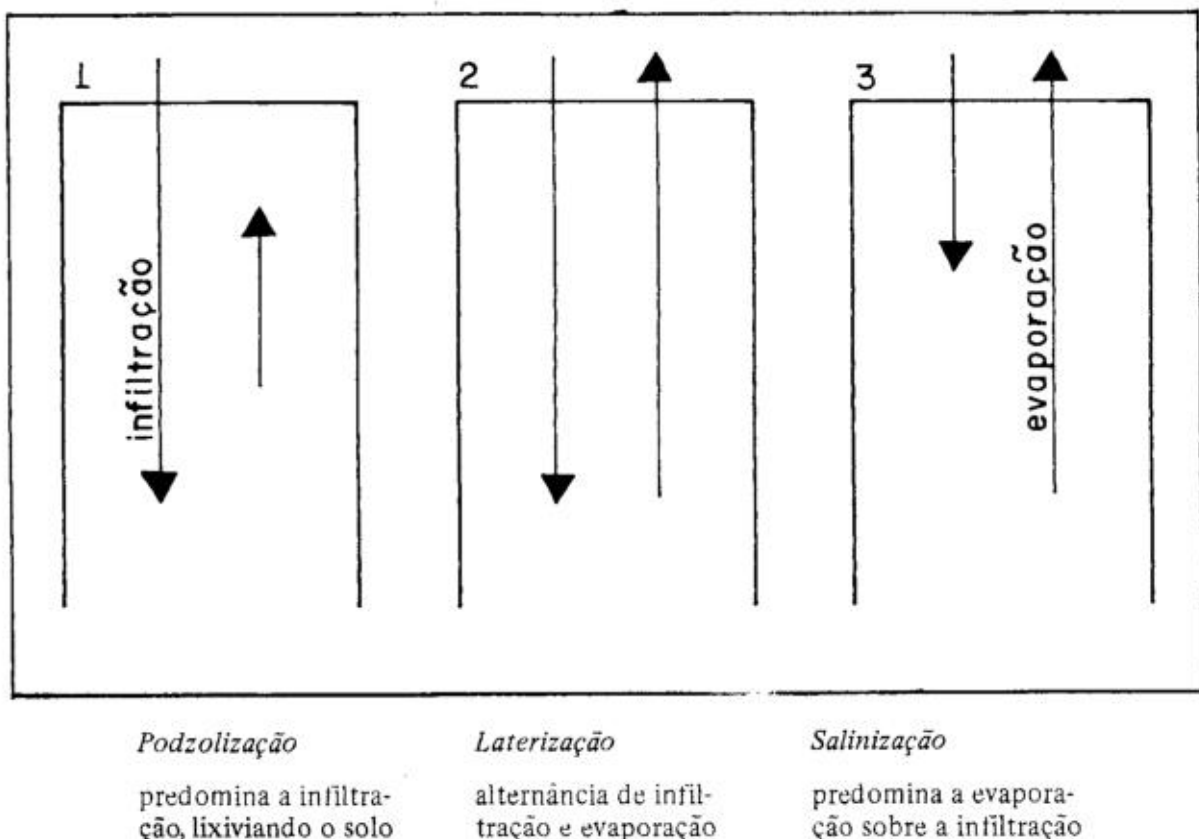


Fig. 3.4 *Influência da infiltração e evaporação da água sobre o solo.*

A *podzolização* ocorre especialmente em solos arenosos em regiões sem estação seca ou abaixo de florestas. De um lado, as florestas garantem a boa infiltração no solo, (80) como é explicado no capítulo VII, e impedem a ascensão da temperatura acima de 24°C e com isso a maior evaporação. Um exemplo típico é a hileia amazônica. A água infiltra-se, percola o solo, lavando-o até se formar uma camada branca abaixo da qual se acumula tudo que foi lavado do solo superior: húmus, cátions, (Ca, Mg) e óxidos de ferro. O solo torna-se muito pobre e muito ácido. (11, 36)

A *laterização* é normal em clima tropical e subtropical com estação seca pronunciada. Na estação das águas o solo é percolado pela água que leva consigo ácido silícico dissolvido, dessilicando o solo. Leva igualmente cálcio, magnésio, potássio, nitratos e boro. Segue-se a estação de seca, onde predomina a evaporação por causa do déficit agudo de precipitações. Sobem novamente os nitratos e o potássio, que, ao lado da atividade microrgânica, especialmente de algas, permitem a vegetação luxuriante do início das águas. Nestas condições há acumulação de ferro e alumínio na superfície do solo por serem menos lavados que o silício. Na região equatorial o efeito da laterização pode ser tão violento (15) que mesmo solos predominantemente arenosos podem apresentar camadas de 20 a 50 cm e mais de concreções lateríticas, as plintitas (85, 86) comumente chamadas de "piçarras" ou "cascalho laterítico", sendo designados como solos concrecionários na área amazônica (84)

Estas camadas de plintitas intrigaram muito os pesquisadores, porque tinham a opinião de que somente podiam formar-se em solos com um nível freático muito alto e parcialmente encharcados, porque o ferro somente é muito móvel em condições anaeróbias, isto é, reduzidas ($\text{Fe}^{+3} \rightarrow \text{Fe}^{+2}$). Mas verificou-se depois que também os ácidos orgânicos, oriundos da decomposição de matéria orgânica, reduzem o ferro, tornando-o móvel. (50)

O alumínio não depende de condições reduzidas para sua mobilização (27) mas, sim, de um pH abaixo de 5,5. (78)

A *salinização* ocorre em zonas com poucas chuvas, isto é, em clima semi-árido ou subúmido e em regiões desérticas, com concentração das chuvas a algumas semanas por ano. Também ocorre em zonas com bastante precipitações pluviais onde os solos forem tão compactos que a água não consegue infiltrar-se e onde mesmo um sol fraco consegue aquecer o solo e provocar sua evaporação. O solo compacto aquece-se como pedra, porque é bom condutor de calor. O resultado é que podemos encontrar solos salinos até no círculo polar ártico. (82) E solos salinos não dependem de águas salinas no subsolo. Também a água doce pode salinizar o solo. Isso porque qualquer água tem alguns sais em solução, especialmente Ca, Na e também pequenas quantidades de Mg e K. E estes sais chegam à superfície do solo, a água se evapora e o sal fica como resíduo, se não houver infiltração da água pluvial. Se este processo perdura por alguns anos, a concentração de sais aumenta; sobe o pH do solo e, finalmente, o solo se saliniza. Mas, ficou claro que, quanto mais compactado e quanto pior é a bioestrutura grumosa, tanto mais facilmente ocorre a salinização. Esta também é a razão por que a irrigação em zonas secas, quando feita com quantidades insuficientes de água, provoca infalivelmente a salinização dos solos. O mais importante na irrigação não é, pois, a distribuição da água no solo, mas igualmente a drenagem da água para lavar os sais e não permitir sua acumulação.

Se os solos salinos aumentam no mundo, (39) não é por causa da água que, de repente, se tornou salobre, mas por causa:

1. da compactação da superfície do solo, quer tenha ocorrido por máquinas, pisoteio animal quer pelo impacto das chuvas e deficiente infiltração da água; (31)
2. de irrigação feita com quantidades insuficientes de água; (75)
3. de drenagem deficiente.

INTER-RELAÇÃO CLIMA: SOLO

Normalmente se acredita que o microclima seja alguma coisa estável, permanente, imutável, e que o ressecamento do globo terrestre seja devido a um pioramento do clima. Aumentam os desertos, é verdade, mas pergunta-se: por que se descobrem cidades, aldeias e uma rede densa de estradas no deserto do Saara, através de aerofotografias com infravermelho?

Como é que antigamente povos prósperos ali viviam? Por que um dos maiores centros de cultura antiga foi o Oriente Médio, que hoje nada mais possui além de desertos e petróleo?

Por que os desertos cobrem justamente os lugares onde uma vez floresceram grandes culturas e povos, como no Egito e México?

Não é estranho que justamente nestes lugares o clima mudou, enquanto que permaneceu estável em outras zonas? Os norte-americanos dizem: "all deserts are man made!" Todos os desertos foram feitos pelo homem. E provam isso eficientemente, já apresentando 20 de seus 51 Estados com "caráter desértico", segundo palavras do então presidente Kennedy.

Ranzani (1971) prova que o cerrado brasileiro, geralmente, possui solos lateríticos e podzólicos. Isso significa que provieram de um clima alternadamente úmido e seco ou úmido, e, portanto, provavelmente eram cobertos por florestas, indispensáveis para a formação destes solos. A vegetação raquítica e xeromorfa não é natural. Parece que é o produto da atividade humana.

Pergunta-se: Como é possível que o solo possa alterar o clima?

O desaparecimento da floresta é o primeiro fator que conduz a profundas alterações. As chuvas tornam-se menos freqüentes, mas muito mais violentas. (87)

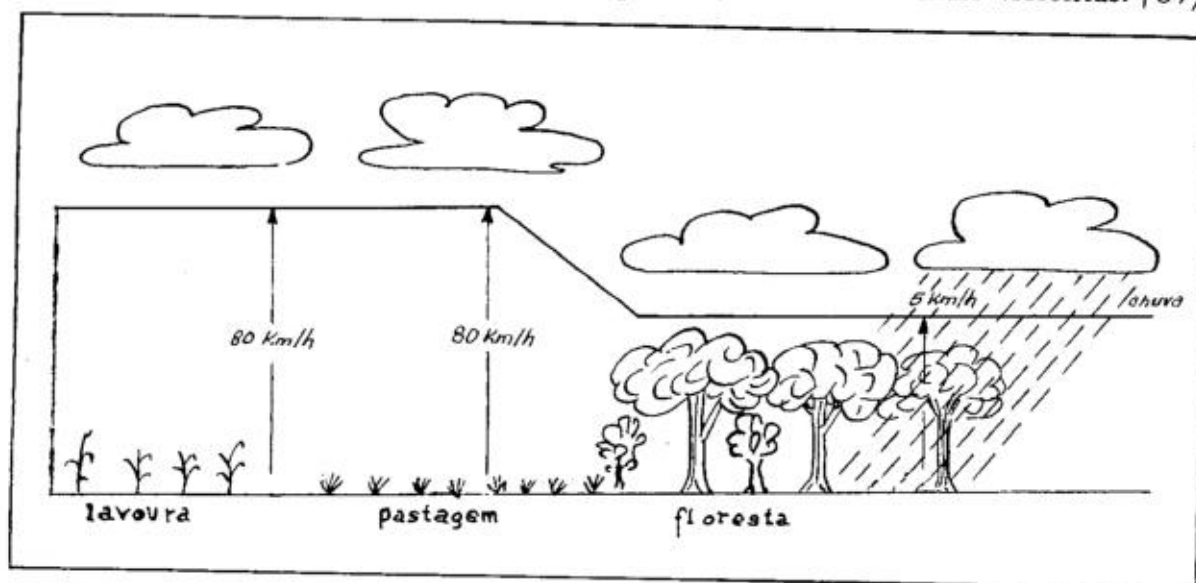


Fig. 3.5 Influência do solo e de sua vegetação sobre o clima. A ascensão do ar em relação à vegetação, e os "buracos de ar" e as chuvas. (Wagner & Lenz, 1963)

Onde não existem florestas, mas lavouras e pastagens, o aquecimento do ar é grande e sua ascensão violenta. Pode ser tão violenta que arranque a terra, as sementes, as plantações e os telhados das casas, como o fazem os "dust bowls" na América do Norte. As nuvens, que o vento traz, deslizam sobre a paisagem e seu ar ascendente, como numa "almofada de ar". Em cima de uma floresta, com sua temperatura mais baixa, a ascensão de ar diminui bruscamente. A nuvem "cai num buraco". Todo aviador e também todo passageiro, que já viajou num avião pequeno num dia quente conhece estes vácuos. E, se a nuvem for pesada, não consegue segurar a água: chove, como mostra a fig. 3.5. Em cima de terra que não tem árvores, as nuvens necessitam ser muito pesadas para poderem descer. E, quando o são, sempre dão origem a aguaceiros e "torós".

Entra-se agora num destes círculos viciosos. A tromba de água compacta a superfície do solo. Muita água escorre e pouca se infiltra. Há erosão. Os rios se encham. Há inundação. E depois de uma ou duas semanas de sol há seca. A água não se infiltrou, não chegou até o nível freático no subsolo, não pode alimentar fontes e vertentes. Os poços secam, os rios secam, as fontes secam e os solos estão secos porque a tromba de água somente umedeceu a superfície. Com a seca instala-se uma vegetação pobre. E quanto mais pobre a vegetação tanto mais difícil a queda de chuvas, tanto mais prolongadas se tornam as épocas de seca e tanto mais pavorosas são as enchentes. Por quê? O clima se faz numa camada tênue que encobre nosso globo. Com qualquer avião maior pode-se passar a camada de nuvens e voar sob um sol eterno e céu límpido. Nuvens, chuvas e ventos ficam lá em baixo. O clima piora à medida que desaparecem as florestas e o solo se compacta. As leis de reflorestamento não são vãs. Foram feitas para evitar a "produção em massa" de desertos. Não estão aqui para salvaguardar o futuro das serrarias e fábricas de papel. Foram redigidas para garantir a nossa sobrevivência, porque desertos não dão sustento a ninguém, a não ser quando houver petróleo no subsolo e enquanto houver alguém que o troque por alimentos.

O solo "tropical" com pH entre 4,0 e 5,0 sofre degradação rápida para a laterita. (41, 86) As argilas ricas, se existirem, como as montmorilonitas, transformam-se em argilas pobres, cauliníticas e, finalmente, em gibsita, que é hidróxido de alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$) puro.



Este processo de dessilicação é reversível. (34) O silício lixiviado é transportado novamente à superfície do solo por arbustos e árvores por exemplo, dos pampas e cerrados, podendo provocar até a ressilicação de gibsita. (55) Eles absorvem o silício, transportam-no a suas folhas que, após sua queda, reintegram o silício à superfície do solo, se o clima for seco. Se for úmido, o silício mobilizado pelas árvores, em forma orgânica, é lixiviado. Lovering (1958) calcula que 3% das folhas de florestas tropicais são silício. Mobilizam assim duas toneladas de silício por hectare em 2,5 anos. Mas existem outras árvores, como alguns pinheiros (*Agathis australis*) e abetos (*Picea abies*), que, com suas excreções radiculares, mobilizam ferro, que é lixiviado em seguida. De modo que, onde aparecem, o solo se torna branco, (38) constituindo sílica pura.

Do mesmo modo que o silício, as árvores florestais tropicais bombeiam cátiões à superfície do solo, evitando o seu empobrecimento.

Quadro 3.6 *Análise de solo do "lavrado" de Roraima, Fazenda Anzol.*

local da amostra	pH	M. O. %	SMP	P ppm	Ca ppm	K ppm	Mg ppm
solo 10 metros distante de Caimbé (<i>Curatella americana</i>).	4,5	1,8	7,1	2,5	60	25	traços
Solo debaixo de Caimbé.	5,4	2,6	7,1	6,5	270	25	200

No momento em que se derrubam as árvores para instalar pastagens, corta-se também o fluxo de nutrientes e a fonte de ressilição. Muitas árvores e arbustos transportam nutrientes à superfície como Ca, K, Mg, Na etc., variando isso segundo a espécie. (69) Em clima pouco chuvoso podem até salinizar o solo. Em zonas com épocas chuvosas contribuem, tão somente, ao enriquecimento temporário do solo com nutrientes.

Quadro 3.7 *Análise do solo na área amazônica, Estado do Piauí, Núcleo Colonial Agrícola. (Bol. Téc. Nº 6, M. A. 1969)*

solo	área da co- lônia em %	areia %	silte %	argila %	C %	CTC me%	pH
laterito bruno avermelhado eu- trófico	1,13	42	38	20	1,97	13,3	6,5
latossol vermelho- amarelo, plântico, caatinga arboriz.	9,81 22,23	81	8	11	0,53	3,4	5,0
podzólico vermelho amarelo equiv. eu- trófico	0,27	89	5	6	0,38	2,0	5,4
areias quartzosas, vermelho-amarelas	24,95	90	4	6	0,98	5,1	4,9
solos aluviais eu- tróficos, superf. argilosa	2,04	2	35	63	0,62	28,5	7,7
afloramento de are- nito e areias quart- zosas verm.-amarelas	37,27 1,37	68	23	9	1,03	7,4	5,5
solos aluviais eutró- ficos, solos brunos não cálcicos	0,93	40	50	10	0,41	5,5	6,7

Este quadro mostra que 94,1% dos solos desta colônia são arenosos, pobres, com uma CTC entre 2,0 e 7,4 me%, sendo igualmente muito pobres em matéria orgânica que, na maioria dos solos, não atinge 1,0% de carbono.

Infelizmente esta colônia é praticamente padrão na Amazônia equatorial, onde somente pequenas manchas de terra apresentam fertilidade melhor (Segundo o RADAM: 10%). Com os métodos atualmente em voga, e o clima equatorial, a criação de desertos é tão certa como os impostos e a morte.

Há meios de usá-los, mas estes devem ser adequados para os solos tropicais equatoriais e não podem ser importados de países que nos vendem o "know how" de climas temperados.

O ALUMÍNIO NO SOLO "TROPICAL"

Uma verdadeira onda de histeria varre o mundo ocidental contra o alumínio. O alumínio no solo é considerado o inimigo número um de todas as culturas e plantações. Mas, como já explicamos, o óxido de alumínio é um agente que contribui eficazmente à estrutura do solo tropical, sendo, portanto, altamente benéfico. (30, 37) Resta, portanto, o alumínio trocável que, por poder causar plasmólise, isto é, a desidratação e o encolhimento do plasma nas células radiculares, é seriamente prejudicial às plantas. (17, 42, 47) Mas esta plasmólise é causada quando a proporção alumínio/bases (49) (cálcio + magnésio + potássio) for desfavorável. (45) Sabemos que o equilíbrio dos ions absorvidos no plasma é de importância vital. Só cálcio ou só potássio é tão prejudicial como só alumínio. Necessita-se de ions de hidratação, como potássio e sódio, e ions de desidratação, como cálcio e alumínio, para estabelecer o equilíbrio e a hidratação exata do plasma celular. Como já mencionamos, *todas as soluções monossalinas são tóxicas*. (32) A toxidez não depende, portanto, do elemento, mas do fato deste predominar.

Se o alumínio trocável não ultrapassar 40% dos cátions existentes na CTC efetiva (42) geralmente não é maléfico. (48, 49)

A reação das plantas ao alumínio é diversa. (27, 43)

Como é de se esperar, muitas plantas tropicais suportam maiores concentrações de alumínio trocável no solo, como mandioca, batata-doce, cafeeiro, teeiro, a maioria das forrageiras gramíneas como, por exemplo, as do gênero *Digitaria* como capim-pangola e os *Panicum* como capim-colonião. Outras até necessitam de algum alumínio (42, 44, 50) como todas do gênero *Andropogon* a que pertence o capim-rabo-de-burro, capim-caninha etc. (21) Segundo Lipmann (1938) sorgo e milho necessitam de 1 mg de alumínio por litro de solução nutritiva, quando criados em laboratório, para seu melhor desenvolvimento. Plântulas de cacau necessitam de 2 ppm de Al na solução nutritiva. As *Ciperáceas*, como cabelo-de-porco, crescem em solos com altas concentrações de Al trocável, podendo suportar quantidades que matam qualquer outro vegetal a não ser samambaia. Muitas espécies de *Rubiáceas*, às quais pertence o cafeeiro, todas as *Teáceas*, às quais pertence o chá-da-índia, muitas *Lauráceas*, às quais pertence o louro, todas as samambaias e muitas árvores do cerrado acumulam alumínio em suas folhas, que pode ascender até 10 mg para cada grama de substância seca. (21) Por isso, o aparecimento de samambaia num pasto ou campo é o sinal seguro de altos teores de alumínio trocável no solo, o que, porém, não exclui que o solo seja rico em nutrientes. Na fig. 3.6 verifica-se que, à medida que diminui a camada solta e bem agregada na superfície do solo, e aumenta a camada compactada, diminui o teor em fósforo disponível e o pH enquanto aumenta o alumínio extraível, embora se trate do mesmo solo, uma vez solto e outra vez compactado. Vide também fig. 2.26.

O problema maior do solo "tropical" não é, pois, a presença de alumínio tóxico, mas a compactação do solo, que permite o aumento de alumínio até níveis tóxicos. (88) (vide capítulo II)

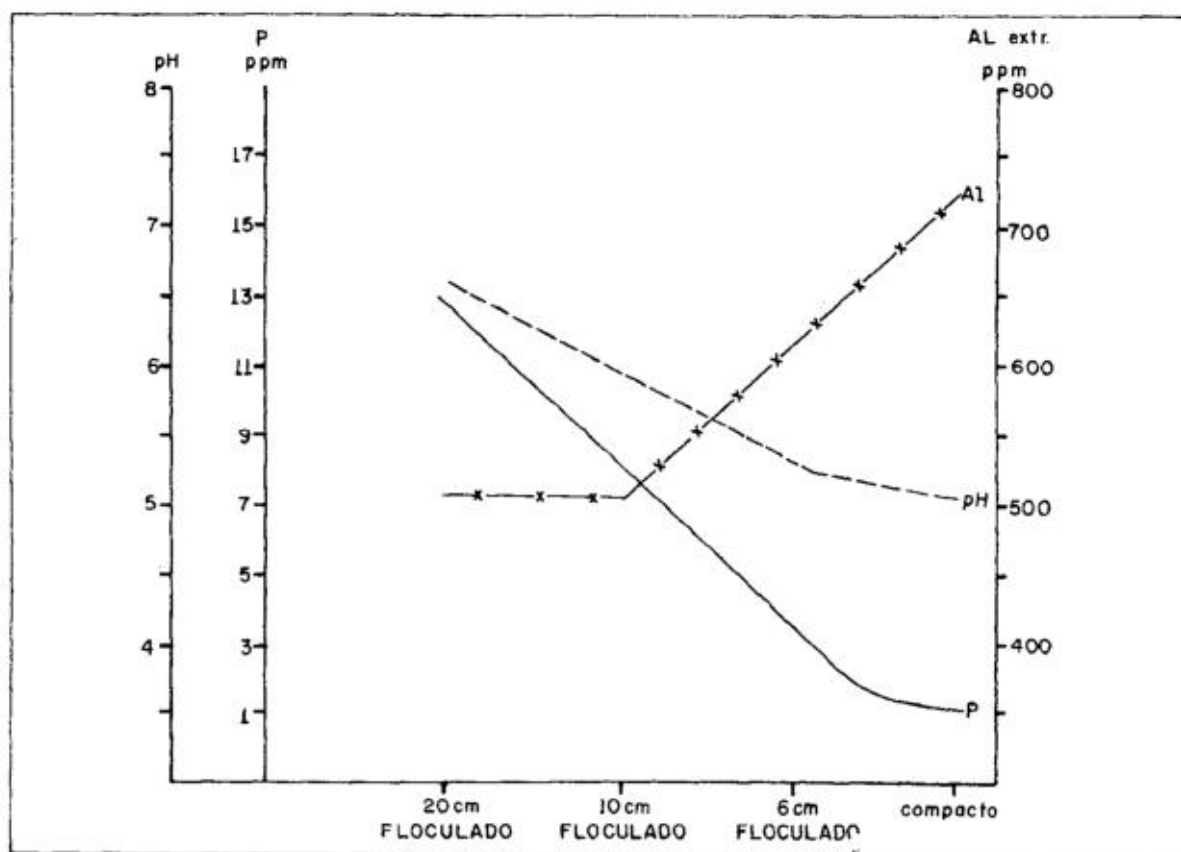


Fig. 3.6 Efeito de compactação do solo sobre o pH, P e AL (Watts, 1973)

Num oxissol, de boa fertilidade inicial, com 72% de argila e 12% de silte e um complexo de troca de 12 me%, foi apurado o seguinte quadro, causado pelo cultivo:

Quadro 3.8

anos de cultivo	pH	pH/SMP	P mg/kg	Al troc. me%	M. O. %	agregados estáveis à água
Mata virgem	4,9	6,1	3,2	1,2	5,2	60,1
Roça nova	5,8	6,6	12,1	0,4	4,5	63,4
2º ano	7,3	6,6	27,0	0,4	3,8	62,3
15º ano	5,4	6,4	7,0	0,6	3,0	29,7
35º ano	4,2	5,8	7,5	2,1	2,6	25,4

(Primavesi, 1973)

Obs.: foram medidos os agregados de 0,5 a 1,0 mm de tamanho em peneiração úmida.

A mata foi roçada pelo fogo e a cinza incorporada ao solo. O efeito acumulado de cinza e da decomposição de matéria orgânica pelo arejamento do solo provocou no primeiro ano e especialmente no segundo um aumento vigoroso de todas as condições do solo, proporcionando colheitas recorde. Após o terceiro ano iniciou-se a degradação da bioestrutura do solo e ao mesmo tempo a deterioração de todas as suas condições físicas, químicas e biológicas. A adubação e a calagem tiveram efeito muito pequeno nos últimos três anos, não tendo podido aumentar substancialmente a colheita, de modo que as safras se tornaram caras. A razão disso é a bioestrutura

decaída do solo, a oxigenação deficiente das raízes e o aumento do alumínio trocável. Os problemas com toxidez de alumínio normalmente iniciam quando o pH descer abaixo de 5,5 ou subir acima de 9,0. (76) Isso em solos argilosos onde, neste pH, ocorre a desagregação da hidroargilita. Alcança-se o valor máximo de Al trocável em pH 4,1. Abaixo deste o Al trocável normalmente decresce novamente. (83) O perigo de aparecimento de alumínio trocável sempre é maior em solos argilosos do que em arenosos.

Normalmente é suficiente elevar o pH a 5,3, e, para as culturas mais sensíveis ao Al tóxico, a 5,5 (15), que equivale ao pH em que começa a absorção boa de fósforo. (18)

A RIQUEZA MINERAL DO SOLO "TROPICAL"

Em toda literatura liga-se a riqueza do solo à quantidade de argila que o solo possui. Porém, isso vale para as argilas menos hidratadas das zonas temperadas. Com a degradação rápida das argilas em clima tropical, o teor em argila nem sempre coincide com a riqueza em elementos nutritivos disponíveis, uma vez que sua capacidade de manter os nutrientes disponíveis é muito reduzida.

Quadro 3.9 *Análise de terras vermelhas da Amazônia, Território de Roraima. (Primavesi, 1970)*

argila + silte %	pH	pH/SMP	M.O. %	P. ppm	K. ppm	Ca ppm	Mg ppm	S ppm	uso
55	5,2	6,9	2,2	2,5	30	150	200	51	pastagem
55	5,2	6,5	3,3	2,5	25	430	200	7	floresta
5	5,4	7,1	3,3	11,0	25	350	180	28	floresta

Observa-se que a riqueza em cálcio disponível do solo, na floresta, depende especialmente da matéria orgânica e da presença de árvores que bombeiam nutrientes à superfície, e, somente em parte, do teor em argilas.

A capacidade de solo "tropical" em trocar cátions (CTC), isto é, de manter cálcio, potássio, magnésio e sódio disponíveis à planta, depende em parte do teor em matéria orgânica. Assim, é possível que um solo com apenas 5% de argila quase possua tantos cátions disponíveis que um com 55% de argila.

Um solo podzólico vermelho de São Paulo, colhido nas diversas alturas de uma ladeira, deu os seguintes resultados:

Quadro 3.10

argila	M. O. %	CTC me%	saturação em cátions, me%
5	0,15	1,9	1,5
5	3,20	10,4	8,8
25	3,20	17,7	5,0

Estes valores oscilam, porém, de um solo para outro, mesmo se pudermos dizer que 5% de caulinita num solo possuem em média uma capacidade de troca

de 2,0 me% e 1% de matéria orgânica de aproximadamente 2,0 a 2,7 me%. Em solos ricos a capacidade de troca da matéria orgânica é maior que em solos pobres. Para uma produção boa, valores menores que 15 me% de troca parecem desfavoráveis. Isso significa que um solo argiloso com 10 me% de CTC necessita mais de 3,5 a 4% de matéria orgânica para produzir adequadamente. Quantidades maiores de matéria orgânica não parecem necessárias e até podem ser prejudiciais, além de ser quase impossível alcançá-las. Segundo Scheffer (1956), as raízes das plantas são mais curtas em solos húmidos, porém, mais volumosas. Ficam, portanto, nas camadas mais superficiais, o que em nosso clima pode ser perigoso na estação seca, onde geralmente a umidade adequada do solo se encontra somente abaixo de 50 cm de profundidade. (vide capítulo IV) Parece acertada a tendência de manter um nível de matéria orgânica no solo não menor que 3% e não maior que 4%, quantidade que encontramos justamente na maioria dos solos "tropicais" virgens. Virgens são os solos florestais primários e não pastagens nativas anualmente queimadas, cerrados, capoeiras, terras abandonadas ou qualquer outro solo destruído pela ação do homem e pelo uso indiscriminado do fogo e, por isso, ocasionalmente fora de cultivo e uso.

O SILÍCIO NO SOLO "TROPICAL"

A alta solubilidade de silício em clima tropical conduz à dessilificação dos solos e à degradação das argilas.

O silício se perde em solos com pH abaixo de 5,5 (5) e o solo se torna inferior em sua capacidade de produzir. Mas contribui igualmente para o endurecimento extremo dos solos arenosos na zona tropical, durante a estação de seca. A riqueza dos solos em ferro e alumínio deve-se justamente à hidrólise dos silicatos de ferro e alumínio (35), ocorrendo depois uma relação de óxidos de ferro mais alumínio/óxido de silício maior que 2,5. Chamamos de laterização a este processo de dessilificação.

Em clima temperado o quartzo é considerado como sendo pouco solúvel, porém, em clima tropical é atacado por bactérias que contribuem à sua solubilização. (6) Parte do silício é absorvido pelas plantas, onde contribui à firmeza da estrutura do tecido vegetal. Especialmente a palha de cereais e gramíneas é rica em silício. Mesmo em clima temperado o trigo absorve aproximadamente 120 Kg/ha de óxido de silício, e ao solo florestal retornam anualmente 250 kg/ha de SiO_2 , pelas folhas caídas. (72)

Por 100 g de solo pode haver 50 mg de Si solúveis em água e até 600 mg solúveis em ácidos orgânicos fracos. (8)

Enquanto o fósforo e o molibdênio contribuem à precipitação de silício, ferro e manganês, no solo, o ácido cítrico, excretado pelas raízes, mantém-no em solução.

Quando as areias, como as amazônicas, são ricas em minerais como augita, hornblende, feldspato e biotita, parcelas muito grandes de silício podem ser solúveis. Na época de seca provocam a vitrificação destas areias, que é tanto maior quanto mais degradado for o solo, isto é, quanto menos matéria orgânica, cálcio e fósforo o solo contiver. Os solos menos degradados, especialmente quando ainda com suficiente matéria orgânica, não se vitrificam na seca, porque a mobilidade de fósforo reduz a solubilidade de silício. (14, 16)

Conseqüentemente há uma laterização muito rápida de solos pastoris periodicamente queimados, onde escasseiam a matéria orgânica e o fósforo. As camadas de *piçarra laterítica* ou *cascalho concrecionário* no horizonte B são grossas, desvalorizando os solos. Evita-se a vitrificação dos solos com uma calagem, que modifica o pH, uma vez que esta ocorre especialmente em solos com pH entre 3,0 e 5,0. Todas as medidas que aumentam o pH "amaciam", pois, o solo "tropical" na estação de seca. O pH também se eleva pelo uso de quantidades módicas (8 a 10 t/ha de restos culturais) de matéria orgânica, através da alcalinização por bactérias aeróbias que ela sustenta. (6, 51) (Vide capít. IV) Mas a polimerização dos ácidos silícicos e sua vitrificação somente se processa quando forem aquecidos, seja por uma queimada ou pelo sol. (33) O sombreamento do solo é, pois, outro método de evitá-la. A queimada de pastagens durante a seca, porém, é um dos fatores que promove o "endurecimento" das areias tropicais.

RESUMO

O solo tropical é um ecossistema apropriado para o clima quente. Em estado virgem dispõe de uma bioestrutura grumosa muito vantajosa para a expansão radicular. Esta bioestrutura forma-se dos agregados, floculados pela presença de óxidos de ferro e alumínio, graças à atividade biológica. Para isso necessita de matéria orgânica. E, como a matéria orgânica sofre decomposição rápida em clima tropical úmido, sua reposição periódica é indispensável.

A pobreza mineral do solo tropical não constitui uma desvantagem enquanto sua bioestrutura for boa, o que prova a vegetação exuberante em solos virgens. Em parte possui teores elevados de alumínio a que a vegetação tropical está adaptada. As plantas de cultura importadas de outros climas, em parte, já desenvolveram resistência a maiores concentrações de alumínio. A toxidez do alumínio não é absoluta mas relativa e depende do seu equilíbrio com os demais cátions (Ca, Mg, K Na), da espécie e variedade vegetal e da saturação do complexo de troca por alumínio e bases. (100 Al/Al+S). Em estado adensado ou compactado a produção do solo tropical é muito reduzida, reagindo pouco à adubação.

A manutenção de boas condições de produção depende, portanto, da:

1. conservação de sua bioestrutura grumosa, especialmente na camada superficial do solo, contribuindo a proteção contra chuvas e insolação, a reposição de matéria orgânica e a manutenção de um pH acima de 5,3;
2. utilização de técnicas que evitam a formação de compactações e adensamentos; (vide capítulo IX)
3. adubação dirigida; (vide capítulo VIII)
4. manutenção de um clima favorável, sem temperaturas extremas, o que influi favoravelmente sobre a distribuição das chuvas. (78) Para isso necessita-se da manutenção de florestas em quantidade suficiente.

Deve-se lembrar que solos de baixadas, geralmente, possuem outro tipo de argilas e, portanto, reagem diferentemente às técnicas agrícolas, são mais pegajosos e muitas vezes necessitam de calagem maior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Addiscott, T. M.- 1972 - Intercâmbio K/Ca en experimento realizado en suelos de Broadbalk. *Rev. Potasa* 4/49.

2. Batey, Th. - 1973 - Aulas de manejo do solo, no curso de Pós-graduação em Biodin. e Produt. do Solo, Sta. Maria/RGS.
3. Bayer, L. D. - 1968 - The effect of organic matter on soil structure. *Scient. Varia*, 32:383-413.
4. Ben, J. R. - 1974 - A absorção de fósforo pela cevada. *Tese de M. S. Sta. Maria/RGS*.
5. Beckwith, E. S. e R. Reeve, - 1964 - Solubility of silica in acid soils. *Austral J. Soil Res.* 2:33-45.
6. Berthelin, J. - 1971 - Transformation d'un sable granitique por activité bacterielle. *Sci. Sol.* 1:11-29.
7. Bezerra de Oliveira, L. - 1967 - O estudo físico do solo e a aplicação racional de técnicas conservacionistas. *Pesq. agropec. bras.* 2:281-85.
8. Birch, H. F. - 1953 - The solubility of silica in soils. *J. agric. Sci.* 43:229-32.
9. Black, C. A. - 1957 - Soil-plant relationship. *Wiley, New York*.
10. Bodziak, Jr. C.; D. M. Paula Souza e J. C. Stengel Ripsolli, - 1966 - Estudos comparativos da fertilidade de alguns solos da região cafeeira do Paraná. *Rev. Esc. Agron. Vet. (Paraná)*, 2 (único):43-93.
11. Buckmann, H.O. e N.C.Brady, - 1966 - Natureza e propriedades dos solos. *Bibliot. Freitas Bastos, S. Paulo*.
12. Callot, G. e C. Juste, - 1971 - Classification des sols acides et humiques, formés sur sediments alluviaux des fleuves pyrennieus. *Sci. Sol.* 2:5-6.
13. Donahue, R. L. J.; C. Schickluna e L. S. Robertson, - 1972 - Soils, an introduction to soils and plant growth. *Prentice-Hall, New Jersey*.
14. Elgawhary, S. M. e W. S. Lindsay, - 1972 - Solubility of silica in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36 (3):439-42.
- 14a. ElSwaify, S. A; S. Ahmed e S. D. Swindale, - 1970 - The influence of exchangeable cations on the physical properties of tropical red and black Soils. *Soil Sci.* 21:188-98.
15. Fink, A. - 1963 - Tropische Böden. *Parey, Hamburg*.
16. Flach, K. W.; W. D. Nettleton; L. H. Gile e J. G. Cady - 1969 - Pedocementation and hardening by silicic acid. *Soil Sci.* 107:442-52.
17. Fleming, A. L. e C. O. Foy, - 1968 - Root struture reflecting differentail tolerance of wheat varieties. *Agron. J.* 60:172-76.
18. Garcia Blanco, H.; W. R. Venturini e H. Gargantini, - 1965 - Comportamento de fertilizantes fosfatados em diferentes condições de acidez do solo para trigo, com estudo de efeito residual. *Bragantia*, 24 (22):261-79.
19. Garkuscha, J. F. - 1953 - Bodenkunde, *Deutscher Bauernverlag, Dresden*.
20. Glinka, K. - 1914 - Die Typen der Bodenbildung, *Gebr. Bornträger, Berlin*.
21. Goodland, R. - 1971 - Oligotrofismo e alumínio no cerrado. *III Simp. sobre o Cerrado. USP*, pp 44-59.
22. Grohmann F. - 1960 - Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, 19 (21):319-27.
23. - - - - - , - 1972 - Superfície específica do solo de mapeamento do Estado de São Paulo. II: Influência da matéria orgânica, dos óxidos de ferro livre e dos cátions trocáveis na superfície específica do solo. *Bragantia*, 31 (14):167-85.
24. - - - - - , J. B. Oliveira, de, e J. P. Queiroz Neto, de; - 1966 - Influência da adubação nas características dos agregados do solo da série "Chapadão". *Bragantia*, 25 (34):263-70.
25. - - - - - , e J. P. Queiroz Neto, de; - 1966 - Efeito da compactação artificial de solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. *Bragantia*, 25 (38):421-32.
26. Hall, J. K. e D. E. Baker, - 1971 - Phosphorus fixation by montmorillonite and vermiculite clays as influenced by pH and soluble aluminium. *Soil Sci Soc. Amer. Proc.* 35 (6): 876-81.
27. Hallsworth, E. G. e D. V. Crawford, - 1965 - Experimental Pedology. *Butterworth, London*
28. Hardy, F. - 1970 - Suelos Tropicales. *Herrero, México*.
29. Harris, R. F.; G. Chester e O. N. Allen, - 1966 - Soil aggregate stabilization by autochthon microorganisms in dependance of temperature. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 30 (1): 205-10.
30. Harrison, J. B. - 1934 - Formation of clays in tropical climas. *Imp. Bur. Soil Sci.* pp 79-85.

31. Hillel, D. e W. R. Gardener, - 1970 - Non stationary infiltration in profiles which have surface crusts. *Soil Sci.* 109:69-76.
32. Hoagland, D. R. e D. I. Arnon, - 1950 - The water culture method. *Univ. Berkeley*.
33. Holt, P. F. e D. T. King, - 1955 - em Primavesi, A. 1964, *A biocenose do solo. Palotti, Sta. Maria/RGS.*
34. Jackson, M. L.S.; A. Tylers e A. L. Willes e o. - 1948 - Rock weathering and soil formation. *J. Phys. Coll. Chem*-52: 1237-60.
35. Jackson, M. L. e G. D. Sherman, - 1953 - Soil Chemical analysis. *Advance Agron.* 5:219-25.
36. Jenny, R. e C. D. Leonhard, - 1934 - The influence of precipitation on soil development *Soil Sci.* 38:363-71.
37. Kellermann, V. V. e I. G. Tsyurupa, - 1966 - Role of iron and organic matter in the aggregation of the soil components. *Pochvov.* 8:940-47.
38. Kichuth, R. - 1970 - Ökonomische Leistung höherer Pflanzen. *Naturwiss.* 57:55-61.
39. Kovda, V. - 1972 - Vers une fertilité contrôlée des sols. *Nature et Res.* VIII (2):22-4.
40. Küpper, A; F. Grohmann e C. M. Franco - 1977 - A massa específica aparente do solo como fator limitante do desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro. *An Congr. bras. pesq. cafeeira, Guarapari, ES.*
41. Kubiena, L. W. - 1964 - *comunicação pessoal.*
42. Lance, J. C. e R. W. Pearson, - 1969 - Effect of low concentration of aluminium on growth and water und nutrient uptake by cotton roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33 (1): 95-98.
43. Lee, C. R. - 1971 - Influence of aluminium on plant growth and tuber yield of potatoes. *Agron. J.* 63:363-64.
44. Lipman, C. B. - 1938 - Importance of silicon, aluminium and chlorine for higher plants. *Soil Sci.* 45:189-98.
45. Lund, Z. F. - 1970 - The effect of calcium and its relation to several cations on soybean root growth. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34(3) 456-59.
46. McNeal, B. K.; D. A. Layfield e o. - 1968 - Factors influencing hidraulic conductivity of soils in the presence of mixed salt solutions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32 (2):187-90.
47. Mengel, K. - 1965 - Ernährung und Stoffwechsel der Pflanzen. *Fischer, Jena.*
48. Minotti Bloise, E.; F. A. Castro, de e J. V. Vavra, - 1971 - Estudos de calagem conforme a relação de alumínio trocável para bases trocáveis. *XIII Congr. bras. ciência solo, Vitória.*
49. Miranda, E. R. e A. C. Costa Pinto Dias, - 1971 - Efeito da saturação de alumínio no crescimento de plântulas de cacau. *Theobroma*, 1 (3):33-42.
50. Mohr, E. C. J. e F. A. Baren, - 1954 - Tropical soils. *Royal Trop. Inst. Amsterdam.*
51. Morris, D. O. - 1971 - Acids and alcali production by Rhizobium. *Rhiz. Newsletter*, 16 (1):30-32.
52. Moura F^o, W. - 1966 - Characterization of physical, chemical and micromorphological changes provoked by the cultivation of soil in the triângulo of Minas Gerais. *MS thesis, Soil Sci. Dept. North Carol. State Univ.*
53. Oliveira J. B. de; F. Grohmann e J. P. Queiroz Neto, de; - 1966 - Características dos agregados de solo podzólico vermelho amarelo da Estação experimental de Monte Alegre do Sul. *Bragantia*, 25 (40):445-50.
54. Patella, J. Jr.; L. F. Carvalho e M. O. Machado. - 1969 - Resultados de calagem na cultura de trigo. *Reunião Lab. Solos, Campinas.*
55. Peinemann, N. e E.A. Ferreira - 1972 - Accumulation of amorphous silicon in the pampas plaine (Argentina). *Z. Pflanzenern, Bodenkd.* 132 (1):1-4.
56. Pignataro, I; S. Carvalho e J. D. Jobim, - 1973 - A influência de matéria orgânica sobre diversos fatores do solo. *Curso de Pós-graduação em Bodin. Prod. Solo. Não public.*
57. Pionke, H. B. e R. B. Corey, - 1967 - Relationship between acidic aluminium and soil pH, clay and organic matter. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31 (6):749-52.
58. Primavesi, A e A. M. Primavesi, - 1964 - A biocenose do solo. *Palotti, Sta Maria/RGS.*
59. ----- e ----- - 1964 - Factors responsables for low yields of sugar cane in old cultivated Terra Roxa Estruturada soils in eastern Brazil. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 28 (5):579-80.
60. -----, - 1968 - A manutenção da estrutura ativa do solo e sua influência sobre o regime hídrico do solo. *Progr. Biodin. Produt. Solo, IV*:447-62.

61. -----, e A. M. Primavesi, - 1969 - Constant relation of available nutrientes in various soil units in Rio Grande do Sul, *Agrochim.* 15(2):212-17.
62. -----, - 1969 - Nutzlandgewinnung in den Tropen und Subtropen. *Bodenkult.* 20 (1):1-16.
63. Primavesi, A. M. e A. Primavesi, - 1969 - Influência da bioestrutura do solo sobre a infiltração e evaporação da água. *Progr. Biodin. Produt. Solo.* III:253-68.
64. -----, - 1969 - Influência da estrutura do solo e de micronutrientes na cultura de milho. *XII Congr. bras. Ciênc. solo, Curitiba.*
65. -----, - 1970 - Relatório para o Projeto Rondon sobre as pastagens no Território de Roraima.
66. -----, e A. Primavesi, - 1973 - Agregação de solos ácidos arenosos e argilosos pelos produtos de atividade de bactérias celulolíticas na decomposição semi-aeróbia de palha. *XIV Congr. bras. ciênc. solo, Sta. Maria/RGS.*
67. Raij, B. van; - 1969 - A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. *Bragantia*, 28 (8):85-112.
68. Ranzani, G. - 1971 - Solos do cerrado no Brasil. *III Simpos. sobre cerrado*, pp 26-43.
69. Rickard, W. H. e R. F. Kedugh; - 1968 - Plant relationship of two desert shrubs. *Plant & Soil*, 29:205-12.
70. Rode, A. A. - 1968 - Soil Science, Israel. *Progr. Scient. Transl. Jerusalem.*
71. Robinson, G. W. - 1949 - Soils, their origin, constitution and classification, 3 ed. London.
72. Russell, E. W. - 1961 - Soil conditions and plant growth. 9 ed Longmanns & Green, London.
73. Sanchez, P. A. e S. W. Buol, - 1971 - Características morfológicas, químicas y mineralógicas de algunos suelos principales de la selva amazônica peruana. *Progr. Nac. Arroz, Inf. Técn.* 56.
74. ----- e A. F. A. Furtado, - 1963 - Alteração de rochas e formação de solos. *Agron. Lusit.* 896-903.
75. -----, - 1972 - The review of soil research in tropical Latin America. *USAID, North Carolina Univ.*
76. Schachtschabel, P. - 1971 - Ursachen und Natur der Bodenazidität. *Landw. Forsch.* 26 (1):55-64.
77. Schahabi S. e U. Schwertmann, - 1970 - Wirkung von steigenden Kalkgaben auf die Wasserstabilität der Bodenaggregate in zwei sauren Loessböden. *Landw. Forsch.* 23 (2) 135-41.
78. Scheffer, F. e P. Schachtschabel, - 1952 - Bodenkunde. *Enke, Stuttgart.*
79. Silva, A. da; - 1968 - Panorama e perspectivas de investigação sobre a física do solo em Portugal. *Agron. Lusit.* XXV (VI):1023-36.
80. Snedaker, S. C. - 1970 - Ecological studies in tropical moist forest succession in eastern lowland Guatemala. *Tesis, Univ. Florida.*
81. Stevenson, D. S. - 1970 - The influence of soil, space and fertilization on growth and nutrient content of sunflower. *Canad. J. Soil Sci.* 50:353-60.
82. Tedrow, J. P. - 1966 - Arctic desert soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 30 (2): 381-87.
83. Tucker, B. M. - 1964 - Exchangeable aluminium in relation to the pH of the soil. *Austral. J. Soil Res.* 2:56-66 e 67-75.
84. Viera, L. S. - 1975 - Manual da Ciência do Solo, *Ceres, São Paulo.*
85. Vageler, P. - 1933 - An introduction to tropical soils. *MacMillan, London.*
86. Wambecke, A. - 1967 - Neue Entwicklung in der Klassifikation von Böden in den Tropen. *Soil Sci.* 104:309-13.
87. Wagner, H. e H. Lenz, - 1953 - El bosque y la conservación del suelo. (traduz. Primavesi, A.), *Melhoramentos, São Paulo.*
88. Watts, M.; L. Covolo e W. Silveira, - 1973 - Influência da compactação artificial do solo sobre o desenvolvimento de milho. *Curso Pós-Grad. Biodin. Produt. Solo.* não public.
89. Wiersum, L. K. - 1961 - Utilization of soil by the plant root system. *Plant & Soil*, 15: 189-92.
90. Wrigley, G. - 1969 - Tropical Agriculture. *Faber & Faber, London.*
91. Martin W. S. - 1944 - Grass cover in their relation to soil structure. *Emp. J. exp. Agric.* 12:21-32.
92. Evans, H. - 1936 - The root system of sugar cane. *Pt. II, Emp. J. exp. Agric.* 4:208-20.