

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO 01

PROPRIEDADES E FATORES DA FERTILIDADE DOS SOLOS

POR

JEAN BOYER

DIRETOR DE PESQUISAS DA O R S T O M

- 1970-

CAPITULO I

OS ELEMENTOS CONSTITUINTES DO SOLO

Um solo contém geralmente os elementos seguintes:

- elementos grosseiros
- elementos minerais finos
- elementos orgânicos
- corpos químicos, tais como o cálcio, o potássio, o azoto, o fósforo, etc., na maioria das vezes ligados aos elementos minerais finos e aos elementos orgânicos.

Na realidade, é possível encontrar nos solos todos os corpos simples da classificação de Mendeleiev, muitos apenas em forma de traços (boro, zinco, cobre, etc.).

Evidentemente, algumas categorias destes elementos podem faltar: assim, os solos chamados "siltosos" contêm muito pouco elementos grosseiros ou mesmo nenhum. Os solos de "turfa" são quase que exclusivamente formados de elementos orgânicos; os solos minerais brutos, ao contrário, contêm muito pouco elementos orgânicos.

Assim, em regra geral, estas quatro categorias de elementos encontram-se nos solos, entretanto em proporção variável de um solo a outro.

1.1. OS ELEMENTOS GROSSEIROS

Eles têm um tamanho superior a 2 milímetros

1.1.1- Distingue-se tradicionalmente em pedologia

Os cascalhos : diâmetro médio incluído /
entre 2 mm e 5 cm

Os seixos : diâmetro médio incluído /
entre 5 cm e 20 cm

As pedras : diâmetro médio superior a
20 cm

Observação : pode-se encontrar classificação com cascalhos: 2 mm a 2 cm e seixos : 2 cm até 20 cm.

Os cascalhos, seixos e pedras estão soltos e móveis no solo uns em relação aos outros, mesmo quando eles se encontram em grande quantidade. Eles podem mudar de lugar ou de posição sob a influência de agentes externos (chuva, noventos do solo, homem, etc.). As rochas, ao contrário estão profundamente enraizadas no solo.

1.12 - A NATUREZA DOS ELEMENTOS GROSSEIROS

Ela depende da rocha mãe do solo ou dos acréscimos externos ocasionais (seixos e cascalhos abandonados pela água depois de um enchente, por exemplo, ou ainda / os vestígios de uma couraça ferruginosa). O quartzo (SiO_2) é o mais comum, mas também encontrar-se fragmentos de granito ou de outras rochas (xistos, gabbros, diorita), calcários dolomitas, óxidos concrecionados (óxidos de ferro principalmente) etc.

Nas regiões tropicais úmidas onde os fenômenos de alteração e de dissolução são intensos e rápidos, praticamente não se encontram elementos grosseiros formados por calcários ou por rochas básicas (basalto, gabbro, anfibolitas). Em alguns solos jovens e pouco profundos, subsistem às vezes elementos grosseiros originários de rochas ácidas (granitos, grano-diorita etc.,) mas eles desaparecem logo que o solo envelhece e afunda-se : neste momento subsistem apenas o quartzo e óxidos de ferro.

Nas regiões temperadas e mediterrâneas, os solos são frequentemente muito ricos em elementos grosseiros provenientes da rocha-mãe, elementos calcários (CaCO_3) incluídos.

1.13 - O PAPEL DOS ELEMENTOS GROSSEIROS EM RELAÇÃO À FERTILIDADE DOS SOLOS É MUITO VARIÁVEL

Uma grande quantidade de seixos e pedras impede a cultura, em primeiro lugar porque a terra fofa é pouco abundante e em segundo lugar porque a utilização de máquinas (arado) se torna difícil.

Uma grande quantidade de cascalhos é desfavorável às culturas, mas uma pequena quantidade de cascalhos em solos bem compostos de argilas e de limos pode às vezes tornar a terra menos pesada.

Mas, se os elementos grosseiros são formados de detritos de uma rocha facilmente alterável rica em cálcio, magnésio, potássio e fósforo,....eles podem fornecer às plantas estes elementos: Isto é sobretudo válido para os climas quentes e úmidos onde a alteração é rápida (solos sobre lavas vulcânicas do sud-Cameroun, alguns solos/cacaueiros de Itabuna, etc...).

Em regra geral, pode-se considerar que os elementos grosseiros do solo têm um papel nulo ou negativo para a fertilidade, exceto em alguns casos particulares.

1.2 - OS ELEMENTOS FINOS DO SOLO

Costuma-se reagrupar os elementos finos do solo em várias frações, expressas em microns (um micro é igual a um milésimo de milímetro: $1 \mu = 1.000 \mu$).

1.21 - SISTEMA DE ATTERBERG (sistema internacional)

argila	- 0 - 2 microns	0 - 0,002 mm
limo	2 - 20 "	0,002 - 0,02 mm
areia fina	20 - 200 "	0,02 - 0,2 mm
areia grossa	200-2000 microns	0,2 - 2 mm

Este sistema de fracionamento seguindo uma escala logarítmica é comumente utilizado pelos pedólogos do mundo inteiro.

1.22 - SISTEMA U.S.D.A. (United States Department of Agriculture).

argila	0 - 2 microns
limos(ou siltes)	2 - 50 "
areias muito finas	50 - 100 microns
areias finas	100 - 250 microns
areias médias	250 - 500 "
areias grosseiras	500 - 1000 "
areias muito grossas	1000 - 2000 "

1.23 - PARA OS SOLOS TROPICAIS, utiliza-se frequentemente o seguinte sistema:

Argila	0 - 2 microns
limo fino	2 - 20 "
limo grosso	20 - 50 "
areia fina	50 - 200 "
areia grossa	200 - 2000 "

Este sistema tem a vantagem de separar a fração de 20 até 50 microns que tem propriedades bastante diferentes das das arcias, em particular uma certa capacidade de troca.

Por outro lado, reagrupando as frações "silte" e "arcias finas", reencontra-se exatamente a classificação do sistema de Atterberg.

A palavra "argila" é geralmente utilizada em pedologia para designar tudo que, no solo, tem um tamanho / incluído entre 0 e 2 microns.

Esta fração argilosa compreende:

- argilas cristalizadas (as verdadeiras "argilas" dos mineralogistas)
- detritos de quartzo, de micas, de feldspato / e de minerais diversos (os "pô" dos geólogos)
- óxidos e hidróxidos de ferro, de alumínio, de manganês, etc...

Os cristais de certas argilas cristalizadas podem ter um tamanho superior à 2 microns (algumas illitas e algumas argilas fibrosas sobretudo) e se encontram na fração "silte"; assim oxisolos (solos ferralíticos) da América contêm uma quantidade relativamente importante de vermiculita na fração "silte" (2- 20 microns).

Geralmente, na maioria dos solos tropicais, a proporção de argila cristalizada é muito pequena nos siltes.

A argila cristalizada é formada de folhetos superpostos:

Argila:	espessura do folheto
Caolinita	7 Angstroeng (7 Å)
Illita	10 Å
Montmorilonita	10 até 16 Å
Clorita e vermiculita	14 Å

A caolinita é o principal constituinte argiloso da maioria dos solos tropicais das regiões úmidas; ela representa a quase totalidade da argila cristalizada dos solos ferralíticos.

A ilita é abundante nos solos temperados, onde ela se encontra misturada com a Caolinita e a montmorilonita.

A ilita existe somente em muita quantidade / nos solos das regiões tropicais úmidas (solos ferralíticos), mas seus teores crescem à medida que o clima se torna mais seco (zona tropical semi-árida).

Os folhetos da ilita são suficientemente afastados (0,5-0,7 Å) para deixar entrar entre eles certos cátions como o potássio. Esta propriedade é muito importante porque possibilita o armazenamento do potássio dos fertilizantes entre os folhetos de ilitas; em seguida este / potássio é devolvido progressivamente às plantas.

Quando não tem (ou muito pouco) ilita, como por exemplo nos solos ferralíticos, o potássio dos fertilizantes, quando não utilizado imediatamente pelas culturas, é levado em profundidade pelas chuvas.

A montmorilonita possui a propriedade de inchar no estado úmido: uma película de água penetra entre os folhetos e afasta-os até realizar uma espessura de 16 Å; a montmorilonita volta à sua espessura de 10 Å quando seca.

As variações de espessura com a umidade provocam no solo fendas de retração no estado seco, pequenas moitas de compressão no estado úmido (relêvo Gilgai) e movimentos de mistura dentro do solo.

A maior abertura dos espaços entre os folhetos favorece a entrada dos íons minerais, assim como / de finas partículas de matéria orgânica, daí a cor escura da parte superior dos solos, a montmorilonita.

A montmorilonita se encontra sobretudo nos solos das regiões relativamente secas (zona temperada quente e zona tropical semi-árida), quando estes solos são / formados à partir de rochas ricas em cálcio e magnésio / (calcários dolomíticos, dolomia, basaltos, dicrita, gabros, certos granitos alcalinos, etc).

Desde que a pluviosidade ultrapasse 1.500 mm / anuais, os solos a montmorilonita são raros; existe entre tanto exceções tais como os solos "massapê" do Recôncavo.

1 - 3. - OS ELEMENTOS ORGÂNICOS DO SOLO

1.31 - OS ELEMENTOS ORGÂNICOS VIVOS

São em primeiro lugar as bactérias e os diversos animais do solo (vermes, artrópodos, etc...). O seu papel no solo é tão importante que êle constitue o objeto de duas disciplinas especiais da pedologia: a microbiologia dos solos e a faunística dos solos.

Além destes, encontram-se nos solos as raízes vivas das plantas, ervas ou árvores. Ao contrário do que se poderia pensar, as raízes das ervas que crescem e morrem cada ano, têm muito mais importância em pedologia que as raízes das árvores que permanecem praticamente inóveis durante todo o período de vida das plantas.

1.32 - OS ELEMENTOS ORGÂNICOS MORTOS

São as folhas, os galhos e hastes que caem na superfície do solo, assim como as raízes depois da morte da planta (sobretudo as raízes das gramineas).

Êstes elementos orgânicos são decompostos pelas bactérias e os cogumelos dos solos e dão nascimento, à materia orgânica do solo que é assim formada pela transformação dos detritos vegetais mortos, aos quais se incorporam os corpos das bactérias mortas.

1.33 - A materia orgânica do solo

Ela será estudada em detalhe num outro capítulo. Somente as características essenciais serão dadas aqui.

Nos solos encontra-se:

a) Uma materia orgânica mal decomposta ou "litière" em francês, / "litter em inglês).

Ela não existe nos solos cultivados; sua espessura é reduzida ou nula nos climas quentes e secos, mas / ela pode atingir vários cm, às vezes alguns cms., na zona tropical úmida.

Por outro lado, na zona temperada fria, a "litière" pode ter uma espessura de alguns cms., até algumas dezenas de centímetros.

b) Uma matéria orgânica bem decomposta e incorporada ao solo chamada "humus". Apesar do humus desempenhar um papel muito importante no solo, a sua composição ainda é mal conhecida. Os métodos de fracionamento químico permitem distinguir os seguintes corpos:

- os ácidos crênicos ou compostos hidrosolúveis: Eles são solúveis na água e migram facilmente no perfil; eles dão nascimento aos ácidos fúlvicos.

- os ácidos fúlvicos, têm fórmulas químicas muito semelhantes das dos ácidos crênicos, com ions de ferro e alumínio a mais; eles são insolúveis na água por causa da presença de ferro e de alumínio. Eles são encontrados em grande quantidade nos solos ácidos.

- os ácidos húmicos marrons: eles têm uma cor clara em solução, mas formam faixas avermelhadas no papel a eletroforisa. Eles flocculam lentamente com o ion cálcio. Eles são pouco polimerizados, isto quer dizer que sua fórmula química não é muito complicada.

- os ácidos húmicos cinza: Eles têm uma cor escura em solução, mas aparecem em cinza sobre o papel a eletroforisa, daí seu nome.

Eles são nitidamente mais polimerizados que os ácidos húmicos marrons, isto quer dizer que eles têm fórmulas químicas maiores e mais complicadas. Eles flocculam facilmente e rapidamente com o ion cálcio. Eles se encontram sobretudo nos solos neutros ou pouco alcalinos, ricos em cálcio e magnésio.

- a humina: chama-se humina o conjunto de compostos húmicos que resistem às reações químicas que permitem separar e identificar os corpos precedentes: é, de uma certa maneira, o resíduo da extração depois de ter isolado os ácidos crênicos e húmicos, marrons e cinza.

Alguns autores consideram a humina como o produto mais evoluído, daí mais velho, que os ácidos fúlvicos e húmicos; outros como um produto mais novo.

Na prática não se consegue separar a humina das matérias orgânicas frescas em início de decomposição, o que explica estas interpretações divergentes.

De qualquer maneira, a humina constitui frequentemente 40 a 60% da matéria orgânica evoluída dos solos. É considerável. Não se conhece, mesmo aproximadamente, as fórmulas químicas dos compostos que constituem a humina. Assim, quase a metade do humus é completamente desconhecida.

CAPÍTULO II

Os colóides do solo e suas propriedades

1-1 - DEFINIÇÃO DOS COLÓIDES DO SOLO

Os colóides do solo são partículas de pequeno tamanho, sempre inferior a 5 microns, incluídas na sua maioria entre 0 e 2 microns.

Eles pertencem a 3 grandes grupos:

2-11 - Os óxidos e hidróxidos metálicos

São colóides eletro-positivos, assim chamados porque são carregados positivamente. Eles são representados envolvidos por uma nuvem de eletrons positivos. Segundo a teoria da dupla carga de Gouy os colóides são primeiramente envolvidos de eletrons negativos situados muito perto da superfície que geram uma segunda coroa de eletrons positivos, responsáveis pelas propriedades eletro-positivas destes colóides.

Eles atuam como bases fracas e são assim capazes de fixar anions (OH^- , PO_4^- etc...). Eles se dispersam em meio ácido e floculam em meio alcalino.

Os mais importantes dos coloides eletropositivos são hidratos de ferro e de alumina. São sobretudo:

Goetita	Fe OOH
Lepidocrocita	Fe OOH
Diaspora	Al OOH
Boemita	Al OOH

Quando o solo se desseca muito durante um longo período (vários meses), estes hidróxidos se transformam em óxidos cujas propriedades coloidais são nulas ou muito fracas. Assim:

Fe_2O_3 (cúbico) = magemita

Fe OOH $\rightarrow$ Fe_2O_3 (romboédrico) = hematita

Somente a magemita conserva ainda a propriedade de fixar anions, em pequena quantidade.

2-12 - As argilas ou colóides hidrófobes

Elas são assim chamadas porque são envolvidas de / uma camada de água muito fina. Elas são eletro-negativas porque possuem uma coroa de eletrons negativos.

- segundo a teoria da dupla / camada de Gouy, uma primeira camada de eletrons positivos é seguida de uma segunda camada mais larga de eletrons / negativos que dá aos colóides suas propriedades eletro-negativas.

Como na realidade, as argilas são constituídas de folhetos superpostos, estas cargas negativas / envolvem empilhamentos de folhetos: a segunda representação, sob o aspecto de folhetos, é mais próxima da realidade do que a primeira.

- os colóides eletro-negativos agem como ácidos fracos, fixando cations:

K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Ca^{++} , Ba^{++} , Mg^{++} , Cu^{++} , Mn^{+++} etc... que neutralizam as cargas negativas da argila.

- elas flocculam em meio ácido e se dispersam em meio básico.

2-13 - Os colóides húmicos ou suspensóides ou hidrófilos.

Elas são chamadas assim porque aparecem como suspensas no meio de uma espessa camada de água.

A maior parte dos colóides húmicos são eletro-negativos como as argilas, isto quer dizer que elas fixam cations (Ca, Mg, K, Na, etc...).

Mas, certos colóides húmicos fixam também anions, tais como PO_4^{--} , SO_4^{--} : elas são portanto, eletro-positivo, pelo menos parcialmente.

Para alguns autores, a fixação de PO_4^{--} não seria devido às cargas coloidais, mas à formação de um corpo químico complexo: um humu-fosfato. Em todo caso, esta propriedade do humus de fixar fósforo e enxofre é muito importante para o abastecimento / das plantas por estes dois elementos.

2-14 - Alguns colóides são anfóteros

Isto quer dizer que eles mudam de sinal quando o pH do meio exterior muda. As argilas podem ser anfóteras em certas condições:

Assim, a caolinita torna-se eletro-positiva quando o pH da solução que a envolve é inferior a 4. Para certos autores, tratar-se-ia de um início de destruição da rede argilosa, que muda o sinal elétrico da argila.

Trata-se aí sobretudo de experiências de laboratório. Na realidade, as argilas são sempre eletro-negativas nas condições normais do solo.

2-2 - DISPERSÃO E FLOCULAÇÃO DOS COLÓIDES ELETRO-NEGATIVOS

As propriedades das argilas foram mais estudadas e são melhor conhecidas que as dos colóides húmicos: se bem que estes últimos sejam geralmente eletro-negativos e têm como elas a propriedade de flocular e de se dispersar, tratar-se-á sobretudo das argilas neste parágrafo.

2-21 - Dispersão e floculação pelos ions OH^- e H^+

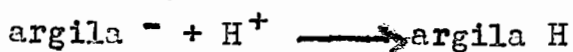
Em meio alcalino (pH superior a 7) onde os ions OH^- dominam (trata-se portanto de um meio carregado negativamente) as argilas têm tendência a se dispersar, isto quer dizer a formar uma suspensão estável de elementos inferiores ou iguais a 2 microns. Eles precisam de um tempo considerável para depositar no fundo da proveta: 6 a 10 horas para 10 cm de caix., segundo a lei de Stokes.

Com efeito, em meio alcalino, carregado negativamente por ions OH^- , tem-se a reação:



Os elementos argilosos, chamados também "micelas", são todos carregados negativamente e se repelem uns pelos outros.

Em meio ácido, $\text{pH} < 7$, rico em ions H^+ , (o meio é carregado positivamente) tem-se:



As cargas positivas do ion H^+ anulam as cargas negativas da argila; as "micellas" de argila se aglomeram em agregados volumosos (lei de Van der Waals) que caem rapidamente no fundo da proveta.

2-22 - Ação floculadora dos cations

Todos os cations, inclusive H^+ , possuem a propriedade de anular as cargas negativas da argila, porque são carregados positivamente. Assim, eles podem todos provocar a floculação das argilas.

Na realidade, os cations bivalentes possuem uma ação floculadora muito mais forte que os cations monovalentes: as argilas associadas a cations bivalentes (argila Ca, argila Mg, argila Ba) serão muito mais energicamente floculadas de que as argilas potássicas, sódicas ou amoniacais (argila K, argila Na, argila NH_4) e apresentarão nos solos uma estrutura muito estável.

Na natureza, dois cations intervêm sobretudo: Ca e Na. Na presença de calcáreo CO_3 Ca, o pH é fracamente alcalino (entre 7 e 8): dever-se-ia ter pois, uma tendência à dispersão. Porém a ação floculadora do ion cálcium é tão forte que os solos calcáreos tem argilas sempre muito bem floculadas, formando estruturas muito estáveis (estruturas agregadas).

Mesmo quando o solo não é calcáreo, a ação floculadora do ion cálcium se produz ainda quando Ca satura as argilas na proporção de 40 a 70%. A estrutura do solo é estável, porém um pouco menos fina de que no caso precedente (estrutura poliédrica).

Na presença de sodium:

Se a quantidade de sodium existente no solo é suficientemente fraca para que o pH permaneça entre 7 e 8, a ação floculadora do sodium é maior de que a ação dispersante do ion OH^- (pH fracamente alcalino). Portanto há floculação.

Se a quantidade de sodium aumenta no solo, em presença de muita água, o pH aumenta muito, até pH 9 e 10; nesse momento, a ação do pH alcalino será dominante e provocará a dispersão da argila. Se o solo seca, tem-se uma forte concentração do sodium no solo e a ação floculadora dos cations sodium é a maior: a argila flocula fortemente, o solo é bem estruturado, muitas vezes duro como concreto; em superfície, a argila forma frequentemente pequenos agregados muito finos e sedosos ao tato. É o que acontece

nos solos fortemente salgados: eles são duros e resistentes quando secos e se transformam em pasta escorregadia nas primeiras chuvas.

Sobre o humus, o sodium tem sempre um poder dispersante, qualquer que seja a concentração em Na; isto é unicamente / devido ao pH das soluções sódicas e não à ação do cation Na, que / parece não desempenhar nenhum papel flocculador sobre o humus.

2-23 - Insuficiências da teoria da flocculação e da dispersão

A teoria descrita parece clara, coerente e fácil a / entender.

Na realidade, ela é simples demais para dar conta / da grande complexidade dos fenômenos naturais.

Por exemplo, se se acrescenta a uma argila grandes quantidades de cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e não calcáreo CO_3Ca , como no caso / anterior, o pH aumenta até mais de 8 mas nunca se consegue obter a dispersão prevista para os pH superiores a 8: a argila permanece / flocculada.

Da mesma maneira, o papel do anion VO_4^{--} é mal co- / nhecido: como todos os anions, ele deveria ter uma ação dispersado- / ra em todos os casos: com efeito, esta é muito forte quando se uti- / liza do hexametáfosfato de Na ou do pirofosfato de Na, mas parece / nula ou fraca se PO_4^{--} é ligado ao potássio, a amônia e sobretudo / do ao cálcio.

Com os colóides húmicos, o sodium tem uma ação dis- / persante em pH alcalinos. Por outro lado, o cálcium e o magnésium / fazem sempre floccular o humus, mesmo quando o pH é vizinho de 8 ou / superior a 8.

O ferro possui propriedades flocculadoras para a ar- / gila: porém a flocculação parece menor devido às propriedades catiô- / nicas do ferro, que são fracas, do que ao fato do ferro servir de / ligação entre os colóides argilosos e húmicos, favorecendo a forma- / ção de colóides complexos argilo-húmicos / muito estáveis. Na estrutura dos solos / tropicais ácidos, o ferro tem um papel / maior que o cálcio.

2-3 - OS COLÓIDES COMPLEXOS

Os colóides orgânicos formam no solo com a argila, o / ferro e o alumínio.

2-31 - O complexo argilo-húmico

As moléculas de humus, muito menores que as da argila tendem a formar uma coroa em torno dos cristais de argila.

Entretanto, os colóides húmicos são envolvidos de uma espessa camada de água que forma um envelope protetor e que torna mais difíceis e mais lentas as trocas com o exterior: em particular a chegada dos cations que poderiam fazer flocular a argila/ (e o humus) é dificultada e atrasada.

Um complexo argilo-húmico dispersado flocula muito devagar e dificilmente, mesmo se o meio exterior é repleto de ions/ cálcio.

Ao inverso, se o complexo argilo-húmico já é bem floculado, esta camada de água que o envolve tende a guardar prisioneiros os cations, portanto a se opor à dispersão.

O complexo argilo-húmico é pois, mais difícil a dispersar, uma vez feita a floculação, de que a argila sozinha: é por isto que o humus constitui um cimento excelente para a formação dos agregados estáveis do solo.

2.32 - Os complexos pseudo-solúveis organo-minerais

Formas de humus solúvel, ácidos fúlvicos sobretudo, mas também ácidos húmicos marron, formam complexos com o ferro e a alumina.

Estes complexos, sendo solúveis, migram facilmente dentro do solo: parece que se tem aí uma das formas essenciais do transporte do ferro e da alumina dentro do perfil.

2.33 - Os complexos pseudo-solúveis à base de silício

O silício existe em grande quantidade nos solos, sob a forma de quartzo assim como de silicatos (as argilas são silicatos).

O silício é solúvel nas soluções do solo com muita fraca concentração (100 à 140 ppm). Ela pode então se combinar com óxidos de ferro, formando complexos silício-ferro eletro-negativos, dispersados e solúveis em meio alcalino, floculados em meio ácido / ou com o ion cálcio.

Complexos silício-alumina, os alofanos, se formam em grande abundância em certos solos sobre cinzas vulcânicas (andosol).

los); são gels muito menos solúveis de que os complexos silício-ferro; eles acabam por evoluir para uma argila simples.

2 - 1. A CAPACIDADE DE TROCA DE BASES

A capacidade de troca é a propriedade do solo e, mais especialmente dos colóides, de trocar os cations de uma maneira reversível.

Existe naturalmente uma capacidade de troca particular à argila e uma outra particular ao humus; praticamente, se mede a capacidade de troca sobre o solo inteiro, peneirado a 2 mm, portanto no mesmo tempo sobre a argila e o humus, quando este existe.

2.1.1. Definições.

A capacidade de troca de bases ou de cations: C.T.C ou C.A.B., (em francês: capacité d'échange de bases ou de cations/ ou CEB e CEC; em inglês: Base exchange capacity ou B.E.C.).

Ela corresponde à quantidade máxima de cations que o solo é capaz de fixar.

Ela é internacionalmente designada pela letra T.

Ela é expressa em miliequivalente para 100 gr de terra fina.

Lembramos que o equivalente-grama corresponde ao peso de átomo-grama dividido pela valência.

1 equivalente-gr = 1000 miliequivalente = $\frac{39}{1}$ gr de K

1 equivalente-gr = 1000 miliequivalente = $\frac{40}{2}$ = 20 gr

de Ca.

A soma das bases trocáveis ou S:

É a soma dos cations outros que H e Al efetivamente fixados sobre o solo a um momento dado. Ela é expressa em miliequivalente para 100 gr de terra fina (peneirada a 2 mm).

O grau de saturação em bases de solo ou V:

É a relação $V = S/T \times 100$

Ele é medido em percentual de S em relação a T.

A acidez de troca:

É o teor em ions H do solo

Acidez de troca = T-S.

Ela é expressa em miliequivalente para 100 gr de terra fina.

2.42 - A capacidade de troca é devida:

- às cargas eletro-negativas das argilas
- dos agrupamentos ácidos COOH^- dos fenóis dos hu-
mus. Esta capacidade de troca é extremamente importante, mais im-
portante, com teores iguais, que a das argilas.
- as cargas de superfície, proveniente da rutura /
dos cristais: eles possuem então cargas negativas livres. Isto aconte-
ce para as argilas (as mais finas tendo as
maiores capacidade de troca), mas também pa-
ra todos os cristais, inclusive o quartzo. Na
realidade, esta capacidade de troca é apre-
ciável somente para elementos inferiores a
50 microns: ela depende essencialmente da superfície específica /
dêstes elementos. Assim, ela é sobretudo importante para tamanhos /
inferiores a 2 microns e, muito fraca entre 20 e 50 microns, se /
bem que ainda medível.

2.43 - A capacidade de troca varia com o pH

Para pH inferiores a 6, a capacidade de troca é ge-
ralmente fixa: é a carga permanente.

Quando o pH aumenta acima de 6, a capacidade de tro-
ca aumenta e a diferença é chamada a carga variável: esta diferen-
ça é provocada sobretudo pelo humus (em razão da dissociação dos /
ions hidróxidos H-OH), mas também pelos efeitos do margem.

É portanto impossível comparar os valores de capaci-
dade de troca feitas à pH diferentes: assim, a medida da capacidade
de troca terá forçosamente um caráter convencional.

Uma convensão faz com que a capacidade de troca se-
ja medida a pH = 7 (quando não é o caso, o experimentador deve o
indicar claramente).

2.44 - A capacidade de troca varia com a natureza do cation.

Um cation monovalente ($\text{K}, \text{Na}, \text{NH}_4, \text{H}$) neutraliza uma
carga negativa do complexo absorvente, mas a experiência prova que
um cation bivalente ($\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Ba}, \text{etc.}$) não neutraliza completa-
mente 2 cargas negativas:

Se se utiliza o cálcio para medir a capacidade de
troca, os valores encontrados serão um pouco superiores aos que
se teria obtido com o ion amônio, por exemplo.

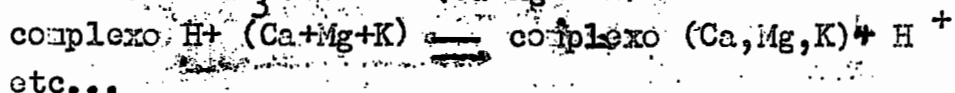
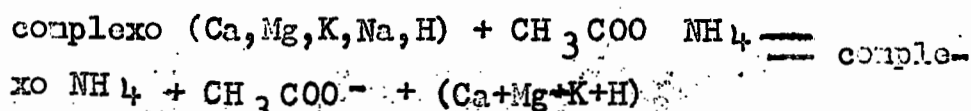
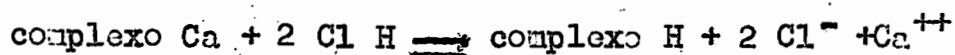
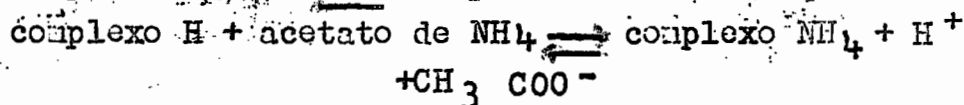
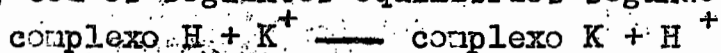
A diferença é medível, mas suficientemente fraca pa-
ra ser negligenciada na prática usual.

Mas, se se utiliza do potássio num solo contendo ilita, o potássio penetra entre os folhetos de ilita e provoca o fechamento destes folhetos, bloqueando a trocabilidade desta argila.

Nos solos ricos em hidróxidos (solos tropicais), os hidratos de ferro e de alumina podem também bloquear uma parte da trocabilidade do complexo absorvente e diminuir a capacidade de troca do solo, formando gels que fecham os sítios de troca.

2.4 - Mecanismo de capacidade de troca

A capacidade de troca obedece, a grosso modo, a lei de ação de massa, com os seguintes equilíbrios segundo os casos:



Várias fórmulas, todas mais ou menos empíricas, foram propostas para exprimir de maneira numérica a trocabilidade dos cations. A mais satisfatória parece ser a de Freundlich:

$$y = K \times x^{1/P}$$

onde: y é a concentração do cation sobre o adsorvente

x é a concentração do cation na solução

K é uma constante de equilíbrio

P é uma constante

Para exprimir os equilíbrios catiónicos entre solo e solução, os autores anglo-saxônicos utilizam frequentemente a fórmula de Gapon, para 2 ions em presença, h sendo uma constante:

$$\frac{\text{K sol} - h}{\text{Ca sol}} \frac{\text{K}^+}{\text{Cl}^-} = \frac{\text{K sol} - h}{\text{Al sol}} \frac{\text{K}^+}{\text{Al}^{+++}} \quad \text{solução}$$

que parece derivar das leis de equilíbrio de Dannan:

$$\frac{(K^+)_i}{(K^+)_e} = \frac{2}{2} \frac{(\text{Ca}^{++})_i}{(\text{Ca}^{++})_e} \quad \begin{array}{l} i = \text{solução interna (solo)} \\ e = \text{solução externa (solução)} \end{array}$$

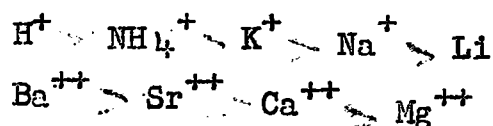
Mas, muitas outras fórmulas foram propostas para dar conta da troca dos cations no solo; entretanto, nenhuma é completamente satisfatória.

2.46 - Trocabilidade dos cations

A possibilidade de substituir um cation por um outro no solo, foi constatada há muito tempo: as primeiras experiências datam de 1849, com o ion amônio (purificação de um "purin" (dejectos de porcos) por passagem através do solo).

Muitos trabalhos foram feitos sobre este assunto, com resultados às vezes contraditórios. Praticamente, constata-se que os ions bivalentes são mais ativos para deslocar os outros cations do que os ions monovalentes.

Para cada categoria, a eficacidade do ion varia da maneira seguinte:



Isto quer dizer que o ion H^+ desloca mais facilmente NH_4 do que ele é deslocado por este.

Esta ordem de eficacidade do cation em relação ao complexo absorvente, pode ter uma certa importância prática: assim se se junta sobre um solo um fertilizante potássico e um fertilizante amoniacado, o NH_4 se fixa melhor que o K sobre o complexo absorvente e uma parte do potássio é perdida, levada em profundidade pela chuva.

Os cations pesados, como Cu, Mn, Zn, se fixam sobre o solo com uma grande força e são difficilmente deslocados pelos outros cations. Entretanto, nos solos muito ácidos (pH 4,5 a 5) o ion alumínio os desloca facilmente.

O inverso acontece com o alumínio: ele é muito mal-fixado nos solos neutros ou pouco ácidos, mas tende a substituir todos os outros cations nos solos muito ácidos.

A natureza da argila tem uma influência:

a illita fixa de preferência o potássio

a montmorilonita fixa de preferência o cálcio

A concentração da solução intervém também na fixação dos cations: com soluções diluídas, é o cálcio que é o mais energicamente fixado no caso de uma mistura de ions.

com soluções concentradas, é o sódio quem é preferencialmente fixado aos outros cations.

É por isto que no laboratório, quando se quer medir trocas de ions, se utiliza somente soluções normais (concentração fixa a 1 molécula-grama por litro): é uma convenção, nas aditida por todo mundo.

Na natureza, esta influência da concentração das soluções sobre a trocabilidade dos cations tem consequências importantes nas regiões tropicais.

Na zona equatorial, onde chove muito, as soluções do solo são muito diluídas e o cálcio se fixará de preferência aos outros ions: com efeito, constata-se que nêstes solos o cálcio representa a maior parte dos cations (60 a 80%).

Na zona sêca, as soluções do solo são muito mais concentradas, sobretudo se o escoamento superficial se faz mal e, é o sódio quem tem tendência a se fixar. Daí a frequência maior / que na zona úmida, dos solos salinos (solos halomorfos).

2.47 - A capacidade de troca e os cations trocáveis nos solos tropicais

A capacidade de troca das argilas puras são em média:

caolinita	5 a 15 m.e. para 100 gr
ilita	30 m.e. para 100 gr
montmorilonita	80 a 130 m.e. para 100 gr
vermiculita	100 a 150 m.e para 100 gr

Nos solos da zona equatorial úmida (mais de 1200 a 1500 mm de chuva por ano), a argila é quase que exclusivamente formada de caolinita; isto faz com que a capacidade de troca do solo seja fraca: 2 m.e./100 gr para um solo formado de 25 a 30% de argila granulométrica.

Felizmente, a presença de humus no horizonte superior, aumenta consideravelmente o valor de T, muitas vezes até 6 ou 7 m.e., às vezes até 12 ou 14. Os valores superiores a êstes últimos / números, são excepcionais.

Nos solos da zona tropical semi-árida, a caolinita se mistura frequentemente com vermiculitas, ilitas e montmorilonitas. A capacidade de troca aumenta, em função destas misturas; ela pode atingir 40 a 50 m.e./100 gr nos solos onde a montmorilonita é a argila dominante.

Quanto às bases trocáveis, quando chove muito, (zona úmida), a chuva tende a tirá-las do complexo absorvente (lixiviação das bases) e o valor de S será frequentemente fraco (S = 1 m.e. /100 gr), enquanto que o grau de saturação caia às vezes até 10 % e, abaixo de 10%, nos solos mais desaturados e mais ácidos.

Por outro lado, se as chuvas são fracas (zona semi-árida), as bases são dificilmente evacuadas fora do perfil do solo e tendem a se concentrar no local: o grau de saturação em bases, ultrapassa frequentemente 70% e, pode tender em direção à 100%, sobretudo se a drenagem não é boa (evaporação no local).

Na realidade, nos solos tropicais, é o ion cálcio / que é usualmente o mais abundante, exceto no caso dos solos halomorfos (solos salgados) onde Na domina.

A lixiviação das bases em clima tropical úmido se acompanha evidentemente da substituição dos cations por ions H^+ / (acidificação do solo); quando a proporção dos ions H^+ se torna importante, ions Al^{+++} se fixam também sobre o complexo de troca (Al provém da degradação das argilas neste meio quente e úmido); A mesma coisa acontece com Mn^{++} , se as argilas são ricas em manganês.

Em certos casos, a medida global da soma das bases/trocáveis inclui o alumínio trocável, que é inútil e muitas vezes/nocivo para as plantas.

É o que acontece se se faz a extração das bases trocáveis com o ácido clorídrico diluído.

Ao contrário, se se faz a extração das bases trocáveis com o acetato de amônio, se reencontra muito pouco alumínio / na solução, porque Al não se troca bem contra NH_4 .

Observa-se pois, nas regiões tropicais úmidas, um / arrastamento em profundidade das bases pelas águas que percolam através do solo: é o fenômeno da lixiviação. Felizmente as raízes das árvores procuram em profundidade (até o horizonte C) as bases levadas pela água e as folhas caídas restituem ao solo superficial, / estas bases: por este motivo, o horizonte A é frequentemente a parte do solo mais rica em bases trocáveis.

Sob floresta, um equilíbrio acaba por se instalar / entre lixiviação e subida das bases pelas raízes.

Mas, se chove muito, (2000 a 4000 mm de chuva por / ano) sobre solos muito permeáveis (onde a água percola rápida e

fácilmente) e suficientemente profundos para que as raízes não alcancem o horizonte C, estas não podem mais se reabastecer em bases. A lixiviação é muito importante e se acompanha de pH da ordem de 3 a 4, com teores de saturação em bases V inferiores a 10%.

Um equilíbrio acaba por se fazer, mas com êstes valores muito baixos (Gabon, Congo-Brazaville, Amazônia).

Evidentemente se se faz o desmatamento e em seguida a cultura, o equilíbrio é rompido: o solo perde suas bases e se acidifica. Assim, solos arenosos do sul do Senegal (1100 mm de chuva) sofreram a evolução seguinte durante 15 anos de cultura permanente (amendoim, "mil", adubo verde):

horizonte Ap 0-15 cm	Soma das bases trocáveis S	pH
Floresta	4 m.e./100 gr	6,4
solos cultivados durante 15 anos	2 m.e./100 gr	4,6 a 5,1

Observe-se pois, perda da metade das bases trocáveis e diminuição de quase 2 unidades pH.

2.43 - Teores em bases trocáveis do horizonte B para alguns solos da África (segundo B. Dabin)

	S	Ca em m.e. para 100 gr	Mg	K	Na
solos ferralíticos muito desaturados:	0,44	0,20	0,09	0,04	-
moderadamente desatur.	1,30	0,53	0,54	0,03	-
fracamente desatur.	2,55	1,31	0,83	0,05	-
solos ferruginosos tropicais lixiviados	3,16	1,82	1,23	0,11	-
pouco ou não lixi.	5,00	2,74	1,92	0,15	0,13
solos vermelhos tropicais ricos em bases	16,70	13,60	7,00	0,07	0,05
solos mediterrâneos	29,50	22,00	3,13	0,38	0,33
Vertisolos	21,70	15,09	4,78	0,37	1,44
solos halomorfos	13,30	3,19	4,31	0,21	5,55

N.B. O horizonte B foi escolhido aqui por ser menos sensível do que o horizonte A, às variações de teores em bases provocadas pela cultura.

2-5 - A REAÇÃO DO SOLO

pH DO SOLO E ACIDEZ DE TROCA

A reação do solo é uma noção complexa; ela recobre na realidade duas coisas que é necessário distinguir.

A acidez atual, medida pelo pH

A acidez de troca que pode ser definida por um número de pH ou ser expressa em m.e. para 100 gramas de terra fina/ (trata-se então de uma quantidade de ions H^+).

2.51 - O pH do solo

Por definição o pH é cologarítmo da concentração / em ions H , presentes no solo.

Ele pode ser expresso pela fórmula seguinte:

$$pH = pK + \log \left(\frac{S}{T} \right)$$

$$\left(\frac{H}{T} \right)$$

pK é a constante da dissociação da argila

Com efeito, além dos cations usuais, Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , o solo possui ions H^+ : ora, alguns destes ions H são livres e se pode medir a sua concentração: é o pH chamado pH água destilada obtido medindo o pH de uma solução contendo duas partes de solo e 3 partes de água destilada. A gama de pH vai de 0 até 14; 7 sendo a neutralidade (o número 7 foi escolhido em razão da taxa de dissociação da água quimicamente pura que é de 10^{-7} de ions H^+ e 10^{-7} de ions OH^-), 0 a acidez completa e 14 a basicidade absoluta. Não se deve esquecer que se trata de uma gama logarítmica / de base 10: se a pH 6 a concentração em ions H é de X , ela será / de $10 X$ à pH 5, de $100 X$ à pH 4, de $1000 X$ à pH 3, de $10.000 X$ à pH 2.

Para os solos, utiliza-se as denominações seguintes:

pH 3 à 5	solos muito ácidos
pH 5 à 6	" ácidos
pH 6 à 6,7	" fracamente ácidos
pH 6,7 à 7,3	" neutros
pH 7,3 à 8,5	" básicos ou alcalinos
pH 8,5 e mais	" muito alcalinos

Alguns pH de solos tropicais e mediterrâneos:

Solos ferralíticos	às vezes 3,5; em geral 4 a 6
" ferruginosos tropicais	pH 5,5 à 6,5
" vermelhos tropicais	pH 6,5 à 6,8
" " mediterrâneos	pH 6,5 à 8,2
" sub-áridos	pH 6,5 à 8,0
Vertisolos	pH 6,7 à 8,5
Solos alomorfos salinos	pH 7,0 à 7,5

A medida do pH se faz habitualmente sobre suspensões solos-água destilada fervida (a água destilada é fervida durante / meia hora para eliminar o gás carbônico que forma com a água um / ácido fraco). As proporções são de 2 partes de solo por 5 partes / de água.

Às vezes se mede o pH sobre pastas de solo com ape- nas suficientemente de água para tornar a terra líquida.

Utiliza-se duas técnicas para a medida:

A colorimetria: faz-se uma suspensão solo-água à qual se acrescenta um colorante e compara-se a cor obtida com a de uma mistura-tampão de pH conhecido, contendo o mesmo colorante.

É frequentemente necessário fazer flocular a argila em suspensão com gelobarrina para obter-se um líquido claro. Os co- lorantes geralmente utilizados são:

Vermelho de metila	pH 5,0
Azul de bromotimolo	pH 7,0
Vermelho de cresolo	pH 8,0

A potenciometria: é o método mais utilizado. Utili- za-se um pH-metro contendo dois elétrodos: um elétrodo de vidro e um elétrodo ao calomel.

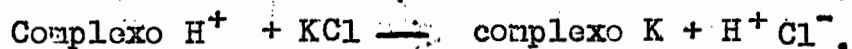
As medidas são precisas: em princípio, é possível / fazê-las no campo, mas em geral, prefere-se efetuá-las no laborató- rio por causa da fragilidade do aparelho.

A medida do pH dá uma idéia precisa da acidez livre ou atual do solo.

2-52 - A acidez de troca do solo

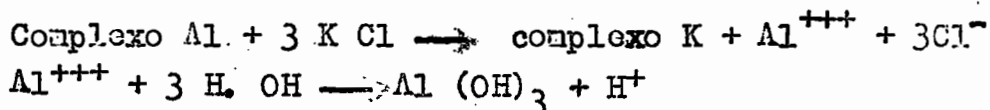
Além dos ions H^+ livres, existem nos solos ions H^+ que são fixados sobre o complexo absorvente (argila e humus).

Para medir estes ions H^+ do complexo, precisa-se / deslocá-los com um cation: utiliza-se habitualmente o potássio.



A acidez assim colocada em evidência é chamada acidez de troca: ela é frequentemente importante: em alguns solos (tropicais e em particular) ela pode abaixar o pH de uma unidade em relação à medida efetuada com a água destilada.

Esta acidez de troca não é unicamente provocada pelo ions H^+ : ela pode também ser proveniente de ions Al^{+++} se estes são presentes no solo (caso de muitos solos ferralíticos ácidos e muito ácidos).

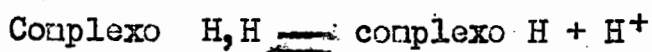


Consegue-se separar a acidez de troca, que é proveniente dos ions H^+ , daquela que é devido aos ions Al^{+++} fazendo-se uma segunda medida de pH sobre uma suspensão que se faz ferver juntando-se uma pitada de fluorêto de sódio. O Na F complexa o alumínio que não intervém mais na reação e a acidez medida é unicamente a dos ions H^+ . A diferença entre as duas medidas indica a parte do Al^{+++} .

No caso dos solos muito ricos em ferro, onde Fe^{+++} ocupa a maior parte dos sítios de troca (em lugar de H^+ e Al^{+++}), a acidez de troca medida com K Cl é fraca, pois o Fe^{+++} se combina / dificilmente com a água e, desta forma, dá pouco H^+ , contrariamente ao que acontece com o Al^{+++} .

2.53 - Relações entre acidez dos solos e a saturação base

Se bem que os ions H^+ livres na solução do solo sejam muito pouco numerosos em relação ao conjunto dos ions H^+ fixados sobre o complexo absorvente, existe de fato um equilíbrio entre os primeiros e os segundos.



Um solo muito desaturado, logo possuindo pouca base e pouco H^+ , terá um pH muito baixo (da ordem de pH 3 para um solo / totalmente desaturado)..

Ao contrário, um solo completamente saturado em cálcio tem um pH um pouco superior a 7.

Porém não se pôde estabelecer nenhuma correlação precisa entre o pH e a taxa de saturação em Bases V para a maioria dos

solos. É assim que solos com pH 7 podem ter V escalonados entre 60 e 80 % (um solo neutro contém pois ainda H^+ trocáveis).

Em dois casos particulares apenas, pôde-se estabelecer uma correspondência aproximativa:

Solos ferralíticos com argila caolínica 1/1

pH	3,7 à 4,5	V	5 à 10%
pH	4,5 à 5,5		10 à 30%
pH	5,5 à 6,5		30 à 50%
pH	7		60 à 80%

Vertisolos com argilas montmoriloníticas 2/1

pH	6,6	V	80%
pH	7	V	85 à 90%

O pH e o grau de saturação V tem uma grande importância na classificação francesa dos solos ferralíticos, pois eles são utilizados para definir as subclasses.

2.4 - Poder tampão do solo

O poder tampão é a capacidade do solo de resistir às bruscas variações do pH introduzidas pelas soluções que os atravessam. É devido exclusivamente às propriedades do complexo absorvente (argila e húmus).

Um solo muito arenoso não tem praticamente nenhum poder tampão se a ausência da argila se acompanha de teores muito baixos em matérias orgânicas.

Na realidade, a argila pura tem um poder tampão bastante fraco, pois ela troca fácil e rapidamente seus cations com o meio exterior.

Ao contrário, se ela é misturada com o húmus (complexo argilo-húmico) ela opõe uma inércia considerável às trocas de cations: seu poder tampão é então importante.

É ao poder tampão que são devidas as oscilações da agulha do pH metro durante as medidas do pH. É preciso esperar alguns minutos para que ele seja vencido.

2 - 6 - O POTENCIAL DE ÓXIDOS-REDUÇÃO OU POTENCIAL RED-OX rH^2 ou Eh

Quando um corpo oxida um outro corpo, é ele mesmo reduzido e inversamente. Estas transformações se fazem após uma

transferência de eletrons:

oxidante + n. $\xleftarrow{\quad}$ redutor

Esta reação pode se aplicar quando um mesmo ion /
passa de uma valência à outra.

Fe^{+++} (oxidado) $\xrightarrow{\quad}$ Fe^{++} (redução)

Ou ainda quando o oxigênio molecular se transforma em hidrogênio /
iônico (H nascente).

$\text{H}_2 \xrightarrow{\quad} 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$

Por analogia com pH, defini-se o rH_2 como o colo-
garitmo da pressão de hidrogênio molecular.

$$\text{rH}_2 = \log \frac{1}{\text{H}_2}$$

Os valores de rH_2 se situam entre 0 (a pressão do
hidrogênio molecular é igual à uma atmosfera) que corresponde à
redução mais forte e, 40 onde a pressão do hidrogênio é extrema-
mente fraca (e a do oxigênio muito forte).

O valor 27 corresponde ao equilíbrio entre redução
e oxidação.

A medida do potencial Red-ox foi aplicada essencia-
lmente ao estudo dos solos hidromorfos: o gley tem um rH_2 de 20
ou inferior a 20 e, o pseudo-gley um rH_2 de aproximadamente 25.

Há uma ligação entre rH_2 e pH: Com efeito,
em meio ácido, o aporte de eletrons necessários para efetuar as
reduções é nitidamente mais fraco que em meio neutro: assim os
solos de mangues que são muito reduzidos (o rH_2 tem pH /
muito fracos, da ordem de 2 e 3.

A medida do rH_2 se faz por colorimetria (azul de
metileno, viragem $\text{rH}_2 = 14$, cloro-fenol-hidofenol viragem a rH_2
= 20), ou por potenciometria com um potenciômetro onde um dos elé-
tródos é um eletrodo de platina: neste caso mede-se um potencial /
 E_h que se liga a rH_2 pela fórmula seguinte:

$$\text{rH}_2 = \frac{E_h}{29} + 2 \text{ pH}$$

As medidas de rH_2 são delicadas a efetuar. Deve-
fazê-las obrigatoriamente sobre o terreno pois o oxigênio do ar /

portuba o rH_2 das amostras e todo transporte um pouco longo torna as determinações posteriores perfeitamente ilusórias.

CAPÍTULO III

pH do solo e rendimentos das culturas

A maioria das plantas cultivadas nas regiões tropicais são geralmente bastante tolerantes em relação ao pH do solo ; elas parecem suportar sem dificuldade uma gama de pH indo de 4 até 7,5 (dendê, arroz, milho, amendoim, sorgo...) e às vezes até mesmo 8 (cana de açúcar).

Entretanto, notou-se que os rendimentos variam bastante em relação com o pH do solo.

3-1 - INFLUÊNCIA DO pH DO SOLO SOBRE OS RENDIMENTOS DAS CULTURAS

3.11 - Algumas plantas preferem solos ácidos

São especialmente: a árvore de chá

a hévea (hevea brasiliensis)

o dendê (elocis guineensis)

O caso é particularmente evidente para a árvore de chá que cresce bem e produz um chá de boa qualidade somente nos solos ácidos (pH $\approx$ 5,5) de Extremo-Oriente, das Índias e da África / Oriental. Se o pH atinge ou ultrapassa 6, a planta sofre e cresce / mal.

Quanto à hévea e ao dendê, eles são simplesmente tolerantes aos pH baixos, mas vivem bem também quando o pH é de 6 ou 6,5: isto é sobretudo válido para o dendê cujos rendimentos são tão bons com pH até pH 6,5, a condição de ter suficientemente / unidade, luz e elementos minerais à sua disposição.

Na realidade, estas duas plantas (hévea e dendê) / exigem condições de calor e de unidade (1600 mm de chuva no mínimo para o dendê, 2000 mm para a hévea) tais que os solos são, na maioria das vezes, ácidos ou muito ácidos nestas regiões. Por outro / lado, são plantas pouco exigentes do ponto de vista da nutrição mineral: elas estão portanto perfeitamente no seu lugar sobre os solos da zona tropical úmida, mesmo desaturados e ácidos. A hévea é ainda menos exigente do que o dendê.

3-12 - Muitas plantas tropicais preferem os solos fracamente ácidos pH vizinho de 6 ou um pouco superior a 6.

Estas plantas aparentemente não sofrem com o pH baixo: elas aí crescem normalmente, porém os rendimentos são mais fracos com pH ácido e aumentam muito se o pH se eleva.

- A bananeira pode se acomodar com pH muito baixo / (pH 4,5) mas constatou-se na Guiné as seguintes diferenças de rendimentos:

pH do solo	Rendimento em T/Ha de bananas
4,5	16,9
6	30,7

O ótimo parece situado entre 6 e 7, se bem que na prática, os plantadores de bananas aceitem uma gama de pH situado/entre 5,5 e 6,5 (Costa do Marfim).

- O arroz irrigado em arrozais no Mali (400 mm de chuva, logo clima muito seco) apresenta seus melhores rendimentos/ com pH 6. Ele suporta facilmente pH do solo de 4 a 5, porém em detrimento do seu equilíbrio fisiológico (Mali, Senegal, Ceilão).

Um bom teor em matéria orgânica, pode em uma certa/ medida, compensar a acidez do solo.

- A mandioca dá um suplemento considerável de rendimento se o pH passa de 5 à 6.

No Togo, sobre as "terras de Barre" (solos ferralíticos fracamente desaturados) pH 5,1 ; 5 T/ha de raízes
pH 5,4 - 20T/ha
pH 6 30T/ha de raízes.

- O amendoim prefere os pH vizinhos de 6, ou ligeiramente superior a 6 dos solos arenosos do Senegal (solos ferruginosos tropicais e solos ferralíticos fracamente desaturados); os rendimentos são ainda aceitáveis para pH 5 e às vezes 4,5 (Sul do Senegal), se bem que eles diminuam quando o pH baixa. Portanto, / observou-se que a cultura do amendoim não era mais rentável com pH 4,4 nos solos ferralíticos desaturados muito argilosos do Congo / Brazzaville.

- O algodoeiro não pode suportar pH inferior a 5,0 - 5,2: não apenas os rendimentos são mínimos, mas também a / planta morre muitas vezes antes da colheita; isto foi observado sobre:

Os solos ferralíticos desaturados da Costa do Marfim e do Congo Brazzaville.

Os vertisolos e solos vórticos do Tchad
Os solos sobre basalto da Tanzânia.
Os solos de aluviões do Madagascar.

No Mali, obteve-se grande diferença de rendimentos em cultura irrigada do algodoeiro em função do pH do solo para uma taxa de azoto do solo de 0,35 % aproximadamente.

pH do solo	Rendimentos de algodão em grão
pH próximos de 7	2000 Kg/Ha
pH 6,5	1500 Kg/Ha
pH 6	1000 Kg/Ha
pH 5,5	500 Kg/Ha
pH 5,3	300 Kg/Ha
pH 5,1	100 Kg/Ha

- A cana de açúcar portanto, muito tolerante, pois ela suporta sem danos inconvenientes pH que vão de 4,0 a 8,9, prefere-se porém solos relativamente neutros com pH compreendidos entre 6 e 8: é nesta gama de pH que ela dá seus melhores rendimentos (Madagascar).

- O cafeeiro (aqui coffer canephora v. robusta) e o cacaueiro dão seus melhores rendimentos com pH vizinhos a 6 ou ligeiramente superior a 6.

3-2 - CAUSAS DA AÇÃO DO pH SOBRE OS RENDIMENTOS DAS CULTURAS

O pH é uma noção sintética que depende de numerosas propriedades do solo, em particular da saturação em bases e da taxa de matéria orgânica. De outra parte, o pH influencia diretamente a vida microbiana do solo, logo o fornecimento de azoto às plantas, assim como ele condiciona em uma certa medida a assimilabilidade dos elementos maiores e dos oligo-elementos.

Assim, a ação do pH sobre os rendimentos das culturas, não é uma ação direta: ela se faz por intermédio de outros fatores..

3.21 - Atividades das bactérias do ciclo de azoto

A atividades das bactérias amonificadoras e nitrificadoras é ótima em pH vizinhos de 6 ou incluídos entre 6 e 7; / ela é muito diminuída ou nula a pH 5 ou mais baixo.

Neste caso, as bactérias não podem fornecer à planta o azoto que ela precisa, a um ponto tal que se pôde dizer que a diminuição de rendimentos aos pH ácidos, é proveniente de um deficit da alimentação azotada.

Evidentemente, se o solo é muito rico em azoto (2,5 % em alguns bananais de Costa do Marfim,) pode-se ter aí uma nutrição azotada suficiente, por causa de um fenômeno de compensação entre reservas do solo em azoto de uma parte e, pH da outra / parte (ver capítulo sobre azoto).

3.22 - Teores em bases trocáveis do solo

- pH baixo demais: a um pH muito ácido, corresponde na maioria das vezes, teores em bases muito fracos.

Na costa do Marfim e na Nigéria, o dendê sofre de uma grave insuficiência em potássio com pH vizinho de 4,5.

No sul do Senegal, quando o pH cai de 6 para 5 e menos, os rendimentos em amendoim baixam fortemente porque a taxa de cálcio trocável é então inferior a 1 m.e./100gr.

- pH elevados demais: nos solos tropicais, pH superiores a 7,5, correspondem à presença de quantidades importantes / de sódio sobre o complexo absorvente. E estrutura se torna desfavorável às culturas (em particular quando Na/Ca > 0,03).

3.23 - Toxicidade do manganês e do alumínio

Quando o pH baixa em torno de 5,0, o manganês dos solos (mas nem todos os solos contêm fortes quantidades de Mn) passa do estado tetravalente, normalmente insolúvel, ao estado bivalente, nitidamente mais solúvel e tóxico, esta toxicidade sendo maior ou menor para as diferentes plantas, por teores de 30 a 140 ppm no solo.

O algodoeiro sofre da toxicidade do manganês em pH inferiores a 5,0 - 5,2 e o amendoim em pH inferiores a 4,5 (Congo-Brazzaville, Tchad, Costa do Marfim).

Vimos que os colóides do solo se carregam em ions / Al em pH baixos; Ora, estes ions Al^{+++} podem se tornar tóxicos para as plantas com pH incluídos entre 4 e 5, em particular para o / arroz (Indochina, Sierra, Leone, Congo-Brazzaville).

3.24 - Blocagem do fósforo sob forma pouco assimilável

No caso dos solos ácidos (pH 5,5) ricos em ferro (goetita), o fósforo se encontra sobretudo sob o aspecto de fosfato de ferro, praticamente inassimilável para as plantas. Resulta disto um déficit na alimentação em P destas plantas.

Ao contrário, nos solos pobres em ferro livre, o fósforo se combina com o alumínio: Estes fosfatos de Al ficam utilizáveis para as plantas, mesmo em pH ácidos (4,5 - 5): solos ferrugíneos tropicais, solos ferralíticos lixiviados.

3.25 - Inassinibilidade dos oligo-elementos

O molibdeno necessário ao rizóbium das leguminosas é tanto mais assimilável quanto o pH for vizinho de 7. Sua assimilabilidade diminui se o pH baixa. Daí a morte dos rizóbiums a pH 5 nos solos arenosos (2 a 3% de argila) do centro do Senegal e o enfraquecimento das culturas de amendoim por falta de azoto.

Para os outros oligo-elementos (cobre, boro, zinco), são sobretudo as brutais elevações do pH por acréscimo de corretores calcáreos ou dolomíticos que provocam as deficiências.

3-3 - ABAIXAMENTO DO pH SOBRE A INFLUÊNCIA DAS CULTURAS

3-4 - CORREÇÃO DO pH DOS SOLOS PELOS CORRETORES

Estes dois importantes problemas serão tratados a propósito do cálcio e do magnésio nos solos.

CAPÍTULO IV

O azoto nos solos tropicais

O azoto é uma das bases da alimentação das plantas, junto com o fósforo, o potássio, o cálcio e o magnésio. Tradicionalmente, as adubações por fertilizantes minerais trazem N P K, / pelo menos quando os agricultores utilizam adubos.

Por outro lado, pode-se dizer que todos os solos / tropicais, sem nenhuma exceção, não têm suficientemente azoto para assegurar os rendimentos máximos das plantas: assim o *Coffea Arabica* crescendo sobre solos excepcionalmente ricos do Cameroun ($1^{\circ}/_{00}$ a $6,8^{\circ}/_{00}$ de N total) tem seus rendimentos multiplicados por 2,8 / com o fornecimento de 500 Kg/Ha de sulfato de amoníaco (103 Kg/Ha de N).

Entretanto, o azoto do ar é inassimilável pelas / plantas que se alimentam somente a partir do azoto do solo. Este / azoto é incluído no humus sob formas orgânicas (ácidos amino / principalmente), também inassimiláveis.

Para que o humus seja assimilável, é preciso que as bactérias do solo o façam passar pelas transformações seguintes:

- amonificação - passagem do N orgânico em N amoniacal NH_3
- nitrificação - passagem do N amoniacal em N nitrado NO_2^-
- nitratação - passagem do N nitrado em N nítrico NO_3^-

As plantas cultivadas se alimentam de preferência / em nitratos (forma nítrica do azoto); praticamente caso único, o arroz dos arrozais inundados, absorve sobretudo o azoto amoniacal e praticamente nenhum azoto nítrico.

4.1 - ORIGEM DO AZOTO DO SOLO

4.1.1 - Azoto trazido pelas chuvas

As descargas elétricas das trovoadas sintetizam NH_3 nas altas camadas da atmosfera, a partir do azoto do ar; este amoníaco é então seguida trazido ao solo pelas chuvas.

Em zona úmida e semi-úmida (Indochina, Malásia, Ceylão, Etiópia Central, Congo-Kinshasa) as quantidades variam de $0,4 \text{ Kg/Ha}$ de N por ano a 14 Kg/Ha/ano de N, segundo os anos, o / os autores.

Em zona semi-árida (Nigéria do Norte, Gambia), os

inglês mediram quantidades muito maiores: aproximadamente 50/Kg/Ha/ano de N, segundo Thornton e Jones, o que parece elevado.

Este azoto das chuvas está principalmente sob / forma amoniacal; recolhe-se mais da metade durante as escassas / chuvas da estação seca e as do início da estação chuvosa.

4.12 - Fixação aeróbia do azoto pelas bactérias do solo

Um certo número de bactérias do solo tem a propriedade de se alimentar em azoto à partir do azoto da atmosfera, mas unicamente em presença de oxigênio. É a fixação aeróbia. Nos solos tropicais (sobretudo na África de língua francesa) / foi reconhecida a presença das seguintes bactérias aeróbias (o que não quer dizer que não existam outras):

Azotobacter chroococcum

Beijerinckia indica

Azotobacter beijerinckii

Bacillus circulans

Alguns germes oligonitrófilos

Sómente *Azotobacter chroococcum* e *Beijerinckia indica* foram bem estudados, se bem que os conhecimentos permaneçam fragmentários.

Azotobacter chroococcum vive com pH entre 6 e 8, com optimum a pH 7. Ele não se encontra mais em pH < 6.

Beijerinckia indica seria um pouco mais tolerante em relação à acidez do solo. Apesar de opiniões contraditórias, parece, sem que isto seja uma certeza, que *Beijerinckia* / pode viver entre pH 4,4 e pH 7, mas que seu optimum de atividade se encontra entre pH 5,6 a 6,2.

Não se conhece as quantidades de azoto fixadas / pelas bactérias anaeróbias nos solos tropicais. Mas, pensa-se, no Senegal e no Mali, que ela é muito mais fraca que nos solos / temperados, em particular porque as bactérias sofreriam de carências em fósforo.

4.13 - Fixação anaeróbia de azoto atmosférico pelos rhizobiums dos leguminosos.

Certas bactérias anaeróbias (isto é que vivem / sem o oxigênio do ar), os rhizobiums, têm a propriedade de penetrar nas raízes das leguminosas (amendoim, soja, feijão, etc) , formando asperêsas chamadas nodosidades. A planta e a bactéria/

vivem em simbiose: a leguminosa fornece ao rhizobium hidratos de carbono (açúcar, amido) e, em troca o rhizobium dá à planta o azoto que ele fixou a partir do ar.

Nos países tropicais, foi sobretudo estudado o rhizobium do amendoim.

Este é muito abundante nos solos com pH situado entre 5,5 e 6,5. Ele morre nos solos muito arenosos (2 a 3% de argila somente) do centro do Senegal, quando o pH caía para 5 e menos. Isto não é válido para os solos mais argilosos, porque foi observado que ele vivia sem dificuldades sob pH 4,5 em solos com 13% / de argila, do sul deste país.

Trata-se aqui apenas da sobrevivência dos rhizobium entre duas safras de amendoim, porque logo depois de entrar nas raízes, estas bactérias são insensíveis às variações de pH.

A atividade dos rhizobiuns dentro das nodosidades, é condicionada pelos teores do solo em fósforo, assim como pelo / molibdeno contido no solo: sem molibdeno o rhizobium constitue as nodosidades normais, mas não fixam o azoto.

Os rizobiuns das leguminosas poderiam fixar em média suficientemente azoto para corresponder à uma adubação azotada de 100 Kg/Ha de N (seja quase 500 kg de sulfato de amoníaco à 20,5%, o que é muito importante), segundo Donnergues.

Mas, o intervalo de variação é enorme: iria de 60 Kg/Ha (mínimo de fixação para o amendoim) até 150 e 200 Kg/ha de N, até mesmo 300 Kg (caso da soja).

4.14 - Fixação anaeróbia de azoto atmosférico pelos clostrídium

Existe no solo, bactérias fixadoras de N que são / livres, isto é, que não se associam às raízes das plantas. Sabe-se que elas existem nos solos tropicais, mas é quase tudo que se conhece a respeito delas.

Segundo certos trabalhos realizados na Austrália, (sobretudo em zona climática mediterrânea) elas parecem desempenhar um papel muito importante.

4.15 - Fixação anaeróbia do azoto atmosférico pelas algas

Algas verdes e azuis (cyanophycées) têm a propriedade de fixar o azoto do ar.

Elas foram sobretudo estudadas em arrozais por pesquisadores japoneses indus e egípcios: o fornecimento do azoto /

por variedades selecionadas de algas é importante, a tal ponto que certos indús consideram que êle é suficiente para fornecer suficientemente azoto ao arroz durante uma safra.

Estas algas existem também na superfície dos solos/ mal drenados, onde a água estagna muito tempo depois de cada chuva. Não se conhece quase nada sôbre o seu papel no fornecimento de azoto ao solo.

4.16 - Quantidade de azoto global fixado no solo

Segundo autores ingleses e nigerianos, as quantidades de azoto atmosférico fixadas no solo seriam:

solos em pousio sob savana herbácea (Gana) 39Kg/Ha/ ano de N

solos em pousio sem vegetação (Sul da Nigéria) 36Kg/Ha/ano de N

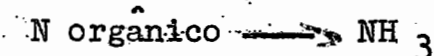
solos em pousio sob floresta (Sul da Nigéria) 215 Kg/Ha/ano de N

4.2 - EVOLUÇÃO DO AZOTO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Para que o azoto contido na matéria orgânica dos solos seja assimilado pelas plantas, é necessário que esta matéria/ orgânica seja transformada em elementos minerais (diz-se que a matéria orgânica é mineralizada) para que o azoto passe do estado orgânico ao estado mineral (amoníaco ou nitratos), o único que as plantas podem utilizar.

A mineralização do azoto é feita por bactérias do solo.

4.21 - Transformação do azoto orgânico em azoto amoniacal



As bactérias amonificadoras estão normalmente presentes em todos os solos tropicais e em quantidade suficiente para realizar esta transformação: mesmo corpos químicos de síntese, como a uréia e a cianamida (utilizados como fertilizantes) são decompostos sem dificuldades em amoníaco.

A amonificação é pouco sensível a dessiccação do solo (ela continua, se bem que fracamente, a pF 4,9), assim como ao excesso de água, pois ela se produz normalmente nos arrozais inundados.

A amonificação é somente diminuída durante os meses sem chuva nas regiões semi-áridas, o que provoca uma acumulação de amoníaco nos solos, a nitrificação fica então quase inexistente. Na zona úmida, esta diminuição é pouco sensível.

O pH intervém na intensidade da amonificação: esta é ótima em pH 6 e diminui fortemente se o pH é 5 ou inferior a 5. Neste momento, são os cogumelos que substituem as bactérias.

Este optimum de amonificação a pH 6 explica porque o arroz dos arrozais inundados dá os melhores rendimentos com pH 6: este cereal cultivado em arrozal inundado, consome sobretudo o azoto amoniacal e é com este pH que a amonificação é a mais intensa.

1.22 - Transformação do azoto amoniacal em nitratos

Esta transformação se faz em 2 etapas, por dois tipos de bactérias, nitradas e nítricas:

NH_3 (amoniacal) $\rightarrow$ NO_2 (azoto nitrado) bactérias nitradas

NO_2 (N nitrado) $\rightarrow$ NO_3 (N nítrico) bactérias nítricas

Como o estado nitrado é muito curto e as bactérias nitradas dos solos tropicais são mal conhecidas, as duas reações serão consideradas juntas sob a denominação geral de nitrificação cujos produtos finais são os nitratos NO_3 .

Nos solos bem drenados e suficientemente úmidos (vizinhos da unidade equivalente), a nitrificação sucede sem dificuldade à amonificação.

Mas se o solo é seco demais, (além do ponto de fanamento), assim como úmido demais, a nitrificação é praticamente parada ela é muito menos tolerante que a amonificação à dessiccação e à umidade forte demais. O pH optimum da nitrificação é já situado entre 6 e 7, mais perto de 7 que de 6, segundo alguns autores.

As variações estacionárias da nitrificação são importantes. Em região / semi-árida, a nitrificação em estação seca é nula. Ela cresce brutalmente logo depois das primeiras chuvas, durante um a / dois meses, diminui em seguida a um nível bastante baixo durante o resto da estação chuvosa. Cada chuva importante provoca / uma diminuição do teor dos nitratos no solo.

Observa-se ainda esta variação estacional, atenuada / mas ainda nítida, nas regiões tropicais úmidas, onde porém o solo / permanece sempre úmido e onde tem sempre algumas chuvas durante a estação seca.

4-3 - AZOTO DO SOLO pH E FERTILIDADE

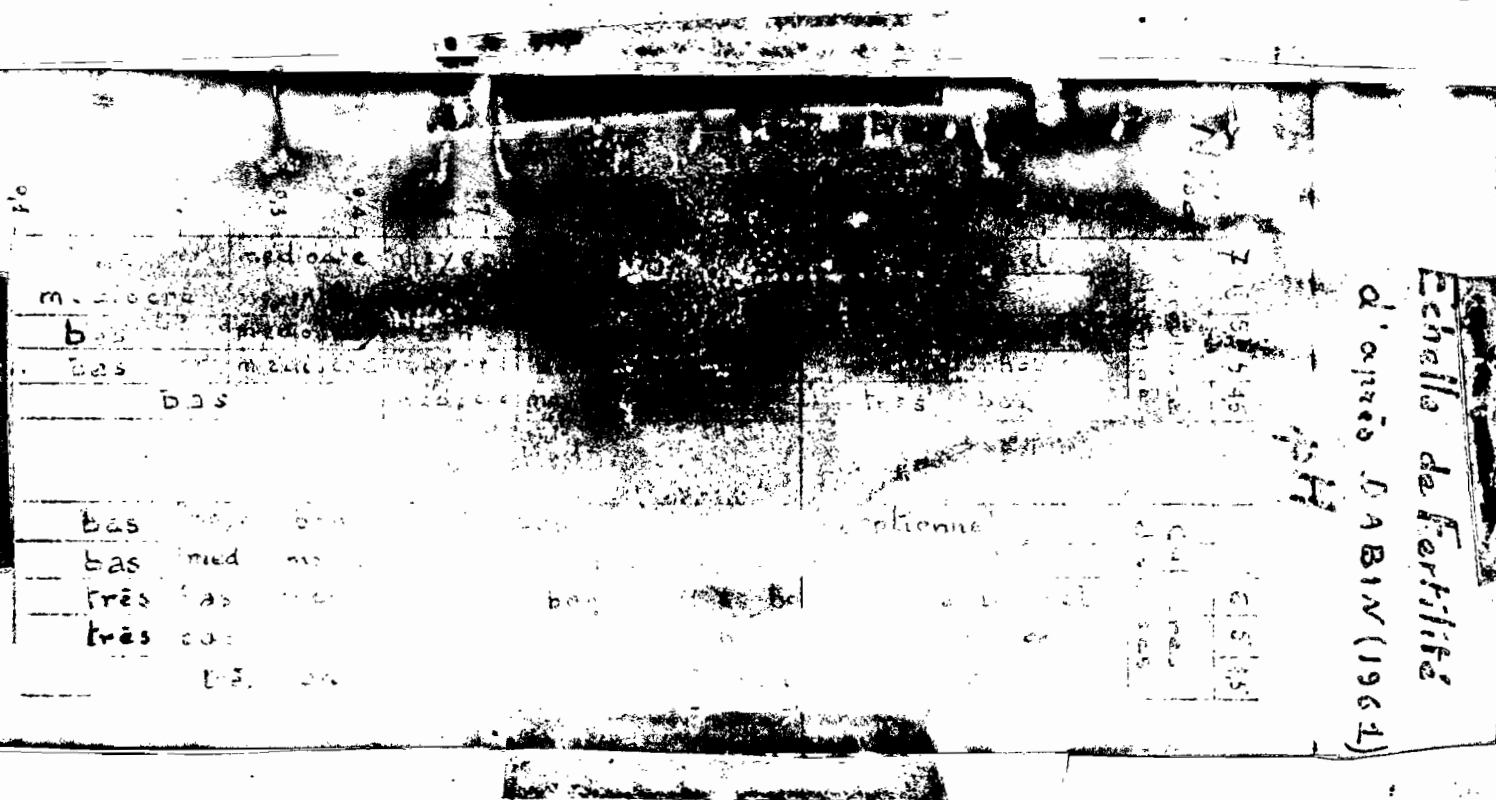
Poder-se-ia pensar que tanto mais rico em azoto, é um solo, tanto mais as plantas terão possibilidade de se abastecer corretamente com este elemento. É preciso entretanto que este azoto, que existe no solo sob forma orgânica possa se transformar numa forma mineral, a única que as plantas podem utilizar facilmente. É aí que intervém a reação do solo, caracterizada pelo pH.

Com efeito, o pH do solo tem uma influência direta/ sobre a atividade das bactérias amonificadoras e nitrificadoras, daí sobre o fornecimento deste azoto a partir da matéria orgânica/ do solo.

Um pH baixo demais (inferior a 4,5 - 5) diminui consideravelmente os fenômenos de mineralização da matéria orgânica e diminui portanto, a quantidade de azoto disponível para as plantas. Um pH elevado ($pH > 6,5-8$), quando não se trata de um húmus cálcico, os acelera, e uma pequena quantidade de matéria orgânica no solo / poderá liberar uma quantidade importante de azoto.

O fornecimento de azoto às plantas é portanto uma / função de uma parte dos teores do solo em azoto (presente sob forma orgânica sobretudo) e de outra parte dos valores do pH (que condiciona sua colocação à disposição das culturas).

Daí uma apreciação da fertilidade de um solo feita/ por Dabin em 1961: a escala de fertilidade reproduzida mais adiante é válida para os arrozais inundados e para as culturas sobre solos fora da água; ela foi verificada na África tropical do oeste, numa zona climática se estendendo da floresta ombrófila (2000 mm de chuva) até as estepes próximas do Saara (300 à 400 mm de chuvas).



4-5 - O PROBLEMA DOS FERTILIZANTES AZOTADOS NOS SOLOS TROPICAIS

Em praticamente todos os solos do mundo, o azoto é o principal fator limitativo dos rendimentos das culturas. Em todas as épocas, a agricultura da Europa Ocidental utilizou o adubo de fazenda, resultante da fermentação em comum da palha e dos dejectos animais (a agricultura chinesa utiliza sobretudo os dejectos animais e humanos no estado bruto); o estrumo contém praticamente todos os elementos fertilizantes (N,P,K, humus, etc...) mas sua acção imediata e espectacular é sobretudo devida ao azoto.

No fim do último século, começou-se a utilizar o guano (nitrato do Chili) porque os agricultores nunca tinham bastante estrumo para conseguir o rendimento máximo de suas culturas. O nitrato do Chili era também a fonte do azoto para a fabricação dos explosivos.

O bloqueio marítimo cortou os alemães de suas fontes de abastecimentos em nitratos durante a guerra de 1914/18, obrigando seus químicos a fabricar nitratos por síntese.

Desta época, data o extraordinário desenvolvimento da indústria dos fertilizantes a partir de 1920.

4.41 - Os principais fertilizantes azotados utilizados na África Tropical

As informações aqui fornecidas se referem principalmente à África Ocidental e Central: algumas comparações deixam pensar que elas são válidas para o conjunto dos solos tropicais.

- Sulfato de amoníaco, $SO_4(NH_4)_2$, com teor 20,5 de N.

É o fertilizante azotado muito mais utilizado nos trópicos, por ser o mais barato e também porque ele traz o enxofre ao mesmo tempo que o azoto.

Inconveniente: ele favorece a acidificação dos solos.

- A uréia, a cianamida: são fertilizantes orgânicos de síntese; os seus preços, um pouco mais elevados que o do sulfato de amoníaco, são compensados por sua forma mais concentrada, vantajosa quando precisa fazer um longo percurso de caminhão ou ferrovia, entre a usina (ou o porto de desembarque) e o lugar de utilização. A uréia e a cianamida se transformam em amoníaco nos solos sem nenhuma dificuldade.

A uréia começa a ser bastante utilizada nas plantações de bananas e de café da África Ocidental e Central.

- O fosfato de amoníaco é um fertilizante caro, mas/ que se torna interessante quando é necessário transportá-lo sobre longas distâncias, porque ele traz ao mesmo tempo fósforo e azoto/ sob uma forma muito concentrada (50% de P_2O_5 , quase 40% de azoto).

- Os nitratos são pouco utilizados na África tropical. Os belgas, no Congo Kinshasa, utilizaram o nitrato de Na até/ 1956. Recentemente, na Costa do Marfim, foram feitas algumas experimentações com o nitrato de Ca sobre *Coffea Canephora* var Robusta.

O nitrato de amoníaco não é utilizado: ele é higroscópico e, quando úmido se decompõe e dá amoníaco gasoso que provocou em 1945/47 explosões tão mortíferas que destruíram não somente os navios carregados de nitratos, mas também os portos e as cidades onde estes navios se encontravam (Houston, Brest).

Apesar dos progressos do condicionamento, o nitrato de NH_4 permanece higroscópico demais para os países tropicais.

Um dos motivos pelos quais os nitratos são pouco / utilizados é que os agrônomos têm medo de uma lessivagem acelerada/ dos nitratos sob a ação das chuvas, enquanto que o ion NH_4 se fixa sobre o complexo absorvente do solo e resiste então ao arrebatamento pela água até ter sido transformado em N orgânico, depois em N/ amoniacal e finalmente em nitratos pelas bactérias.

4.42 - Valor agrônômico das diversas formas de fertilizantes

Foram sobretudo comparados entre eles sulfato de amoníaco, uréia, cianamida e fosfato de NH_4 (isto na África)

Tôdas as experiências concluíram a equivalência entre tôdas estas formas de fertilizantes: na condição de por a mesma dose de azoto, obtém-se praticamente o mesmo aumento de rendimentos com qualquer um deles.

- Entretanto, há 2 casos particulares, muito importantes, onde os resultados foram diferentes:

- se o solo é carente em enxofre (caso geral nas savanas africanas) o sulfato de amoníaco dá os melhores resultados; mas se fornece-se enxofre ao solo (S mineral ou contido num superfosfato), a superioridade do sulfato de amoníaco desaparece.

- se o solo é carente em fósforo (e quase todos os solos da África são carentes em fósforo), o fosfato de amoníaco é

o melhor. Entretanto, se prefere-se fornecer o fósforo ao solo sob / uma forma mais econômica e, muitas vezes mais prática (fosfato tri cálcio, bicálcio ou superfosfato) o fosfato de amoníaco perde sua superioridade.

Algumas experiências foram feitas em arrozais inundados do Mali e de Madagascar para comparar o nitrato de amoníaco com o sulfato de amoníaco e a uréia: constatou-se que o arroz utiliza exclusivamente NH_4 e não tocava ao NO_3 , que por isto era perdido ou utilizado pelas ervas daninhas.

Autores britânicos (Court, Stephens, Waid) assinala-
ram que a uréia dos fertilizantes podia tornar-se tóxica nos solos tropicais; esta toxicidade nunca foi constatada na África de língua francesa, talvez porque as doses utilizadas são relativamente fracas.

4.43 - Acidificação do solo devida aos fertilizantes azotados

O sulfato de amoníaco é considerado como favorecendo muito a acidificação dos solos.

Com efeito, depois do cation NH_4 ter sido utilizado pela flora do solo, o anion SO_4 se combina com o ácido do solo para dar SO_4Ca , sal solúvel, facilmente carregado pela água de drenagem. Resulta pois um empobrecimento do solo em cálcio, acidificação.

A literatura agronômica é cheia de exemplos de abaixamentos do pH por causa dos sulfatos de amônio nos solos temperados e tropicais.

Aqui um caso citado por DUGAIN, na Guinéa: em bananais sobre solos hidromorfos de baixadas com pH inicial 4,8: cada vez que se coloca 200 Kg anuais de N (1 tonelada de $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$, o que é uma dose elevada), provoca-se uma diminuição de pH 0,20 a 0,25 unidade pH.

Com 400 Kg de N por ano (2 toneladas de sulfato), a diminuição do pH é de 0,40 unidades pH.

Por outro lado, nos cafezais da Costa do Marfim, com doses nitidamente menores (200 Kg de sulfato de NH_4 em 6 anos seja em média 33 Kg de sulfato por ano) a diminuição do pH foi apenas de 0,1 unidade pH em relação ao testemunho (pH 5,05).

Todos os fertilizantes azotados acidificam o solo

As experiências foram feitas sobretudo na África, sobre a uréia assim como sobre a cianamida.

Todos estes corpos só contêm carbono, azoto e hidrogênio.

Entretanto, produz-se uma acidificação do solo, mais fraca que com o sulfato de amoníaco, porém nítida.

Ao contrário, o nitrato de cálcio e a cianamida cálcica, que trazem ao mesmo tempo N e Ca, não acidificam o solo.

Mecanismo da acidificação

- Num primeiro tempo, o amônio liberado pela uréia ou trazido pelo sulfato de amônio, expulsa os cations Ca, Mg e K/ do complexo absorvente e toma seu lugar. Estes cations podem então ser eliminados por drenagem.

No Cameroun, comparou-se depois de um ano, o pH e a soma das bases trocáveis de um solo vulcânico muito rico, que recebeu duas doses muito elevadas de sulfato de amoníaco : 1.350 Kg e 2.700 Kg/Ha.

Testemunho	I	II
0 Kg/Ha de N	1350 Kg/ha de sulfato de NH_4	2700 Kg/ha de sulfato de NH_4
	275 Kg/ha de N	550 Kg/ha de N
pH	6,4	5,1
SBT m.e./100gr	21,4	12,5

- os anions SO_4^{--} , para o sulfato de amoníaco, são certamente capazes de fixar as bases livres sob a forma de sais solúveis, facilmente levados depois por lessivagem.

- os anions NO_3^- , formados no solo por nitrificação são muito mais facilmente levados por percolação: entretanto, eles não saem sob a forma aniônica mas sob a forma de nitratos de Ca, de K, de Mg, etc...

- Estudos recentes parecem mostrar que eles são os principais responsáveis pelo desaparecimento das bases do solo.

- Um solo cultivado durante vários anos, mesmo sem fertilizantes azotados se acidifica: no Senegal, depois de uma rotação das culturas sobre 4 anos (adubos verdes, amendoim, milho / miúdo) observou-se:

pH antes de cultivar..... 6,0
pH depois de 4 anos de cultura
sem fertilizantes 5,7
pH depois de 4 anos de cultura
e 325 Kg/ha de sulfato de amoníaco 5,5

(trata-se aqui de solos ferruginosos tropicais muito arenosos, 3 a 4% de argila).

O sulfato de amoníaco só faz acrescentar ao solo / uma acidificação suplementar. O simples fato de fazer culturas sobre um solo, provoca já uma acidificação: há perda de bases:

- pelas exportações devidas às culturas
- pela lixiviação dos elementos minerais, provavelmente sob forma de nitratos (mesmo se não se acrescenta ao solo fertilizantes azotados).

Como evitar a acidificação dos solos provocada pelos fertilizantes azotados.

Utilizou-se como fertilizantes azotados o nitrato / de cálcio e a cianamida cálcica sob cafezais e bananais na Costa / do Marfim e na Guiné: nos 2 casos o fornecimento do cálcio reduziu ou suprimiu a acidificação. Mas são fertilizantes caros.

No Senegal, preconiza-se trazer no início da rotação quadrienal (adubos verdes, amendoim, milho miúdo, amendoim), uma tonelada de fosfato natural moído (500 Kg de CaO), que é enterrado com o adubo verde: o fosfato tricálcio, sal neutro, não releve o pH, mas sua dissociação lenta no solo impede (ou limita) o abaixamento do pH, pelo fornecimento de Ca ao solo.

Mas o procedimento tradicional utilizado nos países tropicais para restabelecer as propriedades do solo perturbadas pela cultura, é o pousio, com suas vantagens (é um procedimento seguro e barato) e seus inconvenientes (tempo muito longo, 5 a 10 anos para 2 a 3 anos de culturas, imensas superfícies de terras inutilizadas por estar em pousio e o grande trabalho do desmatamento quando do ré-início das culturas).

O pousio é atualmente o procedimento mais usual / sob os trópicos: mas mesmo na África continental, portanto pouco / povoada, existe um certo número de regiões (oeste do Senegal, Norte do Cameroun e do Nigéria, Alta Volta) onde a pressão demográfica é tão forte que a duração do pousio é muito reduzida, em detrimento da fertilidade do solo.

4.5 - A LIXIVIAÇÃO DO AZOTO NO SOLO

Os nitratos não permanecem no solo: desde a primeira chuva um pouco forte, eles são levados em direção ao lençol freático, os riachos, os rios e finalmente o mar.

Notou-se (MOULINIER, 1962), sob cafezais da Costa do Marfim, que cada chuva importante fazia baixar o teor de nitratos, que se restabelecia depois por nitrificação da matéria orgânica do solo.

Fornecendo-se ao solo fertilizantes azotados sob forma de amoníaco e de uréia, estes corpos são transformados em nitratos num prazo de alguns dias à algumas semanas (nos países temperados precisa-se / de vários meses sobretudo no inverno).

Tudo que a planta não utiliza imediatamente, é perdido.

Fora talvez nos bananais onde a matéria orgânica / muito abundante, incorpora o azoto (Guiné, Cameroun, Costa do Marfim), nunca tem acumulação de azoto no solo).

E, contudo as plantas, carecem de azoto: mesmo colocando os fertilizantes em 3 ou 4 frações, só se sabe compensar a lixiviação de azoto por um outro fornecimento de azoto, o que provoca uma lixiviação maior de azoto e uma acidificação suplementar / do solo.

Há aí um problema grave que não se sabe resolver : americanos propuseram-se envolver os granulados de fertilizantes / numa casca de produtos orgânicos que seria atacado muito devagar / pelas bactérias; entretanto, o procedimento não saiu dos laboratórios e, talvez ainda não saiu da imaginação de seus inventores.

CAPÍTULO V

O potássio nos solos tropicais

5.1 - ORIGEM DO POTÁSSIO

O potássio presente nos solos provém da rocha-mãe.

5.1.1 - As rochas ígneas (rochas plutônicas e lavas) contêm / muitos minerais com potássio como constituinte de seus cristais: / são certos feldspato (ortoso, anortosa, microclina), as micas (biotita, muscovita, clorita); Os minerais das rochas ultra-básicas / (peridoto, piroxeno), entretanto, contêm muito pouco potássio.

5.1.2 - As rochas sedimentares contêm sempre uma certa proporção de mica (muscovita) assim como de argila ilítica cuja malha / cristalina é rica em potássio. Isto é sobretudo válido para as la-

mas, argilas e xistos; Entretanto, mesmo os calcários e as dolomias contêm sempre potássio nas suas impurezas (muscovita, argila).

5.13- As rochas metamórficas são geralmente muito ricas em potássio, seja sob a forma de micas, sericita ou clorita (metamorfismo pouco profundo), seja incluído nos feldspatos potássicos, tal / como o microclino (metamorfismo profundo das migmatitas e anatexitas).

5.14- Os solos deveriam pois ser muito bem dotados em potássio. Na realidade sobretudo nas regiões tropicais, o potássio é mal fixado sobre o complexo absorvente do solo e os problemas agrícolas causados pelo potássio serão mais provocados por uma certa / pobreza de que por uma riqueza grande demais.

Existe entretanto uma exceção: os solos contendo argilas da família das illitas. Com efeito, a illita não somente contém potássio na sua malha cristalina, mas ela tem também a propriedade de o fixar entre seus folhetos.

5.2 - FORMAS DO POTÁSSIO NO SOLO

Segundo WIEKLANDER, autor sueco, distingue-se

5.21 - O potássio da solução do solo

É o potássio contido no filme de água que impregna e envolve as partículas do solo.

Ele está em equilíbrio com o potássio trocável do solo, do qual na prática, não se distingue (a análise do potássio / trocável inclui sempre o potássio da solução do solo).

5.22 - O potássio trocável

Ele é determinado por extração dos sais neutros, em particular com o acetato de amoníaco neutro e normal. Nos solos / temperados, o potássio trocável representa 1 a 2% do potássio total, se bem que este número possa variar muito em função da natureza do solo (assim, todo o potássio está sob forma trocável nos solos unicamente compostos de matérias orgânicas). Sabe-se quase / nada sobre a relação K trocável / K total nos solos tropicais.

Todo mundo concorda para reconhecer que o potássio trocável é facilmente absorvido pelas plantas, é que ele é a melhor / forma para a nutrição potássica dos vegetais.

5.23 - O potássio fixado

Os átomos de potássio são fixados sobre as interfaces dos folhetos e dentro das cavidades hexagonais dos minerais argilosos tais como a illita. Se bem que retido com bastante força dentro dos folhetos, este potássio consegue sair devagar quando o nível de K trocável baixa muito. Isto é portanto, uma reserva de potássio muito interessante para as culturas. Infelizmente, muito solos tropicais contém pouco, ou não contém illita.

5.24 - O potássio das malhas cristalinas

Este potássio faz parte integrante da arquitetura de certos minerais, como as argilas ilíticas, as micas hidratadas, as micas e os feldspatos.

Ele representa a maior parte do potássio total. Só pode ser extraído por ataque com fluoruros (Na F por exemplo).

Este potássio normalmente não é utilizável pelas plantas.

Entretanto, quando a alteração dos minerais é intensa e rápida (caso das regiões tropicais) esta alteração libera progressivamente uma certa quantidade de potássio trocável, muito útil para as plantas.

Isto só pode acontecer se o solo contém ainda minerais, como os solos jovens pouco profundos contendo ainda fragmentos da rocha-mãe ou os solos salpicados recentemente por cinzas vulcânicas (Cameroon, Indonésia, América Central). Isto não pode ser o caso da maioria dos solos ferralíticos onde não tem mais minerais / potássicos originários da rocha-mãe, desde dezenas de milhares de anos.

5.25 - O fato de poder existir no solo, além do potássio trocável um potássio acessível as plantas depois de um certo tempo (potássio situado entre os folhetos de argila e potássio liberado pela alteração) incitou a criação do conceito de "reserva" de potássium pelos franceses ou de available potassium pelos anglo-saxões (noção de reserva de potassium).

Tentou-se determiná-lo:

- por extração a NO_3H , fervendo durante 5 h (método francês).

- por extração a SO_4H_2 diluído ou ácido cítrico diluído a 2% (método holandês na Indonésia)
- por extração a Cl H 6N fervendo (método inglês na Malásia, nas Antilhas, etc...).

5-3 - O POTÁSSIO TROCÁVEL E A NUTRIÇÃO POTÁSSICA DAS PLANTAS

Trata-se aqui somente do potássio trocável, determinado depois, extração ao acetato de amoníaco neutro e normal.

Não somente reconheceu-se teores-límites abaixo dos quais tinha carência ou fortes diminuições de rendimentos, mas também que o potássio deve encontrar-se em proporção conveniente em relação com os outros cations, Ca e Mg em particular.

5.31 - Nível absoluto de carência para K= 0,10 m.e./100 gr

Quando o solo contém menos de 0,10 m.e./100gr de K, as plantas sofrem graves carências em potássio, com diminuição importante dos rendimentos.

Isto foi verificado na África de língua francesa para o abacaxi, a banana, o café, o cacau, o dendê, o milho miúdo, o sorgo, o arroz, o amendoim; na Nigéria para o dendê; no Brasil e na Austrália para a cana de açúcar (nível de carência entre 0,10 e 0,12 m.e./100 gr de K), em Formosa para a batata doce (nível de carência em torno de 0,09 a 0,10 m.e./100 gr de K).

As vezes foram encontrados níveis de carência com valores mais baixos:

- 0,06 m.e./100 gr de K para a mandioca em Madagascar

- 0,05 a 0,06 m.e./100 gr de K para o amendoim sobre solos formados sobre dunas no Niger (é verdade que estes solos são muito ricos em K extraído com o ácido nítrico fervendo).

Mas foram também assinalados níveis de carência a níveis mais elevados:

- 0,17 m.e./100 gr de K sobre abacaxis em Formosa

- 0,24 m.e./100 gr de K sobre cana de açúcar nas Filipinas.

- 0,20 m.e./100 gr de K sobre cana de açúcar no Havai

- 0,34 m.e./100 gr de K sobre cana de açúcar na África do Sul.

Estas diferenças podem se explicar pelo fato que 0,10 / m.e./100 gr de K representam um teor crítico abaixo do qual carên-

cias graves se produzem, mas não o teor ótimo para obter os melhores rendimentos possíveis.

Por outro lado, deve-se guardar na memória que este conceito depende da produtividade da planta e portanto, de suas exigências.

Uma planta rústica, bem adaptada ao meio, como a mandioca em Madagascar, contenta-se de um teor de potássio no solo muito mais baixo do que as variedades selecionadas e altamente produtivas de cana de açúcar, na África do Sul e Havaí.

O mesmo fenômeno ocorre nas regiões temperadas: 0,20 m.e./100 gr de K eram considerados na França como suficiente há 20 anos; atualmente, com os progressos da produtividade agrícola, tende-se a exigir teores de 0,30 a 0,50 m.e. de K para 100 gr de solo.

5.32 - Nível relativo de carência $K=2\%$ de S.B.T. ou $K=1,5\%$ de T

Nos solos relativamente bem dotados em bases, carências em K podem se produzir se $K \leq 2\%$ de S.B.T. (cana de açúcar na Austrália, banana nas Antilhas, café e diversas culturas na África tropical de língua francesa).

No Nigéria, sob dendê, TINKER prefere utilizar a relação K/T: há carência quando $K \leq 1,5\%$ de T.

A relação K/T deveria ser melhor adaptada nos solos tropicais desaturados.

Às vezes, este nível relativo é expresso em função do teor em argila + silte do solo, que condiciona em grande parte a capacidade de troca T (FORESTIER, sob café na República Centro-Africana).

argila + silte no solo	cafeeiro Robusta (Rep. Centro-Africana)
	nível relativo de carência (teores, limites inferiores do solo em K trocável)
10%	0,05 m.e./100 gr
35%	0,10 m.e./100 gr
70%	0,40 m.e./100 gr

Não se deve pensar que os números
 $K=2\%$ de SBT ou $K=1,5\%$ de T

sejam inatangíveis

É provável que os progressos da agricultura conduzirão estes números a uma reavaliação mais alta, no futuro.

5.33 - Escalas de fertilidade

Pode-se estabelecer, com a ajuda dos dados precedentes, escalas de fertilidade, das quais apresentamos alguns exemplos:

Escala de fertilidade de VALLANCE (1951) para a cana / de açúcar, na Austrália:

Teor do solo em K trocável m.e./100 gr	Avaliação da fertilidade do solo para K
< 0,10	muito fraca
0,10 a 0,12 ou K<2% SBT	fraca
0,12 a 0,18 com K>2% SBT	média
0,18	boa a muito boa

Escala de fertilidade de DABIN e LENEUF (1959), válida na África Ocidental para a maioria das culturas e praticamente todos os solos (exceto os vertisolos)

Teor do solo em K trocável m.e./100 gr	Apreciação da fertilidade do solo para K
0,10	fraca
0,10 a 0,20	medíocre
0,20 a 0,40	média
0,40 a 0,60	boa
0,60 a 1	muito boa

Se o solo é muito arenoso (menos de 10% de argila), precisa-se afetar estes números de um coeficiente de 0,5 a 0,7.

Se o solo é muito argiloso (mais de 60% de argila), precisa-se multiplicá-los por 2.

Desta maneira, toma-se numa certa medida o valor de T que está condicionado em grande parte pelos teores em argila e siltes do solo.

5.34 - Os equilíbrios fundamentais entre potássio, cálcio e Magnésio

Sabe-se que em todos os solos existe um antagonismo entre potássio e magnésio.

Se o solo contém muito potássio e pouco magnésio, as

plantas absorvem muito K e insuficientemente Mg. Numa certa medida, acontece a mesma coisa para a soma $Ca + Mg$.

O mesmo fenômeno se produz colocando-se fertilizantes potássicos sobre um solo que contém apenas bastante magnésio/ para as plantas: um desequilíbrio é assim provocado na relação Mg/K , com carência em Mg para as plantas.

Infelizmente, as relações Mg/K e $Mg + Ca/K$ não foram o objeto de estudos sistemáticos; O problema é complicado pelo fato de que estas relações não são as mesmas para todas as plantas e mesmo quando eles são normais, um fornecimento de fertilizantes pode desequilibrá-los. Seguem alguns exemplos:

- dendê: (segundo JULIA, no Congo-Brazzaville):

Se $Mg/K \leq 2$ e $Ca/K \leq 5$ a absorção de K pela árvore é excessiva enquanto há déficit em Ca e às vezes em Mg.

- bananeira (DUGAIN, na Guiné, MARTIN-PREVEL nas Antilhas, DABIN e LENEUF na Costa do Marfim).

Se $Mg/K \leq 3$: doença do "azul da bananeira" (excesso de K).

Se $Mg/K < 2,5$: convém bem à bananeira

Se $\frac{Ca + Mg}{K} > 40$ a 50, carência em K

- cafeeiro Robusta (FORESTIER/ Rep. Centro-Africana).

Uma relação $2,1 < Mg/K < 3,8$ convém muito bem a este cafeeiro.

Se $Mg/K < 2,1$... excesso de K e carência em Mg/ na planta.

Se $Mg/K > 3,8$... excesso de Mg, sem carência em K (consumação sem proveito de Mg), exceto se $K < 2,5\%$ de SBT (carência de K).

Quanto à relação $\frac{Ca + Mg}{K}$ seus limites inferiores /

são:

$\frac{Ca + Mg}{K} = 24$ para argila + silte vizinho de 10%

$\frac{Ca + Mg}{K} = 18$ para argila + silte vizinho de 80%

$\frac{Ca + Mg}{K} = 12$ para argila + silte vizinho de 70%

Os limites superiores desta relação (acima das quais há carência em K) são difíceis de precisar: pensa-se que /

êles podem se escalar entre 33 e 43.

Na Indonésia, MIDDELBURG e VENEMA encontraram resultados semelhantes sobre dende, mas o potássio sendo extraído com o reativo de Morgan, os seus números são difíceis a comparar com os valores precedentes.

5.35 - Interação potássio-azoto

Trata-se aqui de um equilíbrio K_2O (expresso em $\frac{p\hat{o}}{N}$ so e, não em miliequivalente como precedentemente) que foi sobretudo estudado a propósito dos fertilizantes combinados N e K. Descobriu-se que o fertilizante mineral da bananeira (Formosa) deve ter um equilíbrio K_2O/N de 2 e o do abacaxi (Camaroun) um equilíbrio K_2O/N de 1,5.

5.36 - Interações potássio-fósforo

Se a planta é bem alimentada em fósforo, ela utiliza melhor o potássio e, inversamente (coqueiro na Costa do Marfim, amendoim no Senegal).

5.27 - Interações potássio-ferro

Uma adubação potássica pode curar a clorose férrea do coqueiro na Índia.

5-4 - INSUFICIÊNCIAS DA NOÇÃO DE POTÁSSIO TROCÁVEL E OS TRABALHOS DA ESCOLA INGLESA

Em certos casos, notou-se que as plantas não se alimentavam exclusivamente à partir do potássio trocável (extraído com o acetato de amoníum normal e neutro), mas que elas podiam extrair do solo um potássio que aí se encontra sob uma outra forma.

Por exemplo, bananeiras, nas montanhas costeiras do Mayumbe, no Congo-Brazzaville, parecem tirar uma boa parte do K que elas precisam das muscovitas em via de decomposição, muito abundantes no solo (AUBERT).

Em Gana (ACQUAYE e outros), uma cultura de cevada / em "pot", sobre solos de cacaueiros, mostrou que a metade do K extraído pela planta, provém da fração não trocável.

Na Indonésia, as correlações não são boas entre potássio trocável e nutrição potássica das plantas sobre os solos de Java, salpicados de cinzas vulcânicas (MIDDELBURG)

Por isto, procurou-se definir um potássio assimilável pelas plantas.

5.41 - O potássio assimilável ou utilizável pelas plantas

Os franceses na África, em Madagascar, no Pacífico, na Guyana, nas Antilhas, fazem ferver a terra durante 5 horas com NO_3H fervente. Eles extraem um potássio imprópriamente chamado "potássio total" (o verdadeiro potássio total é extraído por ataque / fluorídrico).

As correlações são geralmente ruins com o potássio / utilizado pelas plantas, mas este K chamado total dá uma idéia das reservas do solo.

Os holandeses, na Indonésia, extraem K com o ácido / cítrico a 2%, o reativo de Morgan, etc...

Isto dá bons resultados em certos solos, ruins em outros.

Os ingleses, na Malásia, em Gana, nas Antilhas, fazem ferver o solo durante 2 a 3 horas com HCl 6N. Os resultados / são bons em certos solos, ruins em outros e, de toda maneira, insuficientemente precisos para diferenciar os solos e não são muito ricos em K, nem os solos muito pobres em K.

5.42 - Os trabalhos da escola inglesa

Atualmente, os pesquisadores ingleses, sob o impulso de BECKET, estudam os equilíbrios entre o solo e soluções contendo quantidades variáveis de KCl e de CaCl_2 (AlCl_3 para os solos muito ricos em alumina de Malásia) e tentam determinar a repartição do K entre o solo e as soluções.

Eles pensam assim medir, não mais o estado instantâneo do K útil às plantas (K trocável) ou reservas mais ou menos facilmente utilizáveis com o tempo, mas um potássio útil às plantas / durante a duração das culturas, tomando em consideração o ambiente catiônico (Ca e Al sobretudo) que tem uma grande importância para a utilização do potássio do solo pelas plantas.

Eles definem assim várias noções.

A relação de atividade de K (activity ratio of K):

É "a medida da energia de troca de K por Ca" (ou Al utilizando-se AlCl_3). Ela se representa com a fórmula seguinte, derivada da equação de GAPON:

$$A R^K = \frac{a(K)}{\sqrt[2]{a(\text{Ca} + \text{Mg}) + 3\sqrt[3]{a(\text{Al})}}}$$

a significa: atividade de

A relação quantidade-intensidade (quantity-intensity relation).

Ela expressa a maneira com que o potencial de atividade depende da quantidade de K lábil no solo.

Praticamente, representa-se a relação Q/I por uma curva que expressa os valores de AR^K em função das variações do potássio contido na terra, depois equilíbrio entre solo e soluções.

A capacidade potencial tampão do solo (Potential Buffering capacity).

Ela mede a quantidade de K "lábil" e expressa-se pela inclinação da curva precedente, portanto pela derivada parcial/

Q/I : é também uma função de Ca, Mg e Al:

$$P B C = h F \quad (\text{Ca trocav. Mg trocav. Al trocav.})$$

(h sendo uma constante)

Conclusão: este método tem o inconveniente de ser longo e complicado. Ele começa apenas de ser aplicado e seus primeiros resultados parecem cheios de promessas, porém ainda insuficientemente verificados para que se possa recomendar atualmente na prática.

TINKER, um inglês que utilizou este método sobre os solos de dendê da Nigéria, acha que o mais simples para evitar os problemas provocados pelo ion Al, é evacuar este cation por uma prévia lavagem com cal e que depois, as medidas clássicas do K trocável com o acetato de amoníaco e a evacuação da relação K/T informam suficientemente sobre as necessidades das plantas em potássio / (e do dendê em particular).

5-5 - A DINÂMICA DO POTÁSSIO NOS SOLOS TROPICAIS

5.51 - Fixação do potássio no solo

Nos solos contendo illita ou alofanos, o potássio penetra no interior dos cristais. Ele constitui assim uma reserva que é colocada lentamente à disposição das plantas, à mais do K trocável do complexo absorvente.

Nos solos com caolinita (solos ferralíticos, solos / ferruginosos tropicais, isto é a maioria dos solos tropicais) este armazenamento não se produz: segundo trabalhos recentes realizados na Malásia e ainda não confirmados, o potássio se fixaria preferencialmente sobre mais ou menos 5% dos sítios de troca e estaria em concorrência muito grande com Ca, Al e H sobre 25 a 30% dos sítios

de onde êle seria facilmente eliminado por êstes ions.

De qualquer maneira, pode-se dizer que, sobre os solos com caolinita, sobretudo:

- é difícil de fixar o potássio sobre o solo quando K constitue mais de 3% da capacidade de troca (os números variam entre 1,1 e 4% segundo os autores).

- os cations H, NH₄ e Al presentes sobre o complexo absorvente, dificultam muito a fixação de K em posição trocável. Eles conseguem mesmo a impedir completamente.

Por isto, nos solos muito ricos em Al, começa-se a fazer adubação de calcário para substituir Al por Ca. Em seguida coloca-se fertilizantes potássicos que são então melhor retidos porque K desloca melhor Ca que Al (hevea, na Malásia).

Por outro lado, se faz uma forte adubação com SO₄ (NH₄)₂, misturado com o fertilizante potássico, NH₄ se fixa preferencialmente sobre o complexo absorvente e o potássio é perdido por lixiviação (bananeiras de Guiné e da Costa do Marfim).

- os anions combinados com o potássio dos fertilizantes têm um papel sobre a fixação do K pelo solo:

- o anion PO₄³⁻ favorece muito a fixação do K sobre o complexo absorvente, constituindo uma fonte entre os colóides⁺ e o cation K (os americanos, no Havai, pensam mesmo que a lixiviação do K é nula ou muito fraca neste caso). Mas os fosfatos de potássio são fertilizantes muito caros.

- o anion SO₄²⁻ teria a mesma propriedade, mas numa proporção muito menor: é mesmo possível que êle tenha um papel eficaz somente quando o pH é vizinho de 5 ou inferior a 5; com pH superiores a 5 sua ação seria muito mais fraca (comparação entre os resultados de Malásia do Havai e de Porto Rico).

- o anion Cl⁻ não favorece de maneira nenhuma a retenção de K pelo solo. Portanto, o cloreto de potássio é o fertilizante muito mais utilizado.

5.52 - Lixiviação do potássio no solo

Lixiviação num solo sem aporte de fertilizante:

No Senegal, observou-se durante uma experiência com vasos lisimétricos, que o solo perdia por lixiviação, por ano, com 800 mm de chuva:

sob vegetação natural ou com adubos verdes	1 a 9 Kg/ha de K_2O
sob culturas de amendoim	3 a 1 Kg/Ha de K_2O
solo nu (sem erosão)	14 a 16 Kg/ha de K_2O

Em toda a África intertropical, considera-se que as perdas de potássio por lixiviação são muito fracas sob vegetação natural, mas que elas crescem enormemente sob culturas, porque em geral estas culturas provocam uma forte erosão:

No Togo: perda em K_2O - 7Kg/ha por ano sob uma reconstrução florestal de 3 anos.

perda em K_2O - 200 Kg/ha sob uma cultura / depois de uma erosão que levou 30 T de terra por Ha, quantidade que infelizmente, não tem nada de anormal.

A erosão pode, portanto, ser considerada muito mais nociva do que a lixiviação.

Lixiviação num solo depois do aporte de fertilizante:

- no Senegal, trazendo-se 41 Kg de K_2O (sob forma / de cloreto) à um solo nu (que perde, sem fertilizante, 14 a 16 Kg/ha de K_2O), a lixiviação do potássio é então de 29 Kg/Ha de K_2O , apesar desta parte do Senegal ser um país semi-árido.

- na Costa do Marfim, sob uma pluviosidade de 1800/2000 mm, constatou-se que 50 a 60% dos fertilizantes potássicos / (aqui sob forma de cloreto) colocados sob bananeiras se reencontravam na água de drenagem. A experiência foi feita sobre 3 anos e a quantidade total de fertilizante colocada durante este período foi de 1590 Kg/ha de K_2O (seja 2650 Kg/ha de K_2O a 60% de K_2O).

A lixiviação dos fertilizantes potássicos é portanto um fenômeno grave: ele é ainda acentuada se se coloca fertilizantes amoniacados.

Assim, no Senegal, ainda a respeito da experiência / em vasos lisimétricos citada acima, foram colocados sobre um solo / nu 140 Kg/ha de N (sob forma de sulfato de amônio) ao mesmo tempo que 41 Kg/ha de K_2O . Obteve-se uma lixiviação de 108 Kg/ha de K_2O , seja mais do dobro do aporte: não somente o ion NH_4 impediu a fixação do K dos fertilizantes do solo, mas também deslocou o K normalmente presente sobre o complexo absorvente, que foram evacuados pelas águas de drenagem.

Não se sabe muito bem como remediar esta lixiviação intensa dos fertilizantes.

Até agora, o melhor meio é adaptar exatamente as doses de fertilizantes às necessidades das plantas: na experiência / do Senegal dos vasos lisimétricos conseguiu-se não ter as mesmas / perdas em K_2O (10 Kg/ha) com ou sem fertilizantes potássicos sob culturas de milho miúdo e de amendoim; no Havai, aconselha-se por o KCl somente quando as raízes da cana de açúcar estão bem desenvolvidas, porque a partir deste momento as perdas são mínimas. Um outro método, é de pôr o fertilizante potássico várias vezes.

Deve-se bem compreender que a lixiviação do K é muito forte num solo nu ou coberto por uma cultura aberta, o que dá / no mesmo.

5,53 - Transformação do potássio não trocável em potássio trocável nos solos.

Já vimos anteriormente dois casos onde as plantas / se alimentam à partir de um potássio não trocável (isto quer dizer que não pode ser extraído com o acetato de amoníaco neutro e normal).

Pode-se pensar que este potássio não trocável se transforma lentamente em potássio trocável no decorrer do tempo e, que / as plantas aproveitam-no.

Estes dois casos são:

- o caso dos solos a ilita e a alofanas (vertisolos e andossolos),

O potássio armazenado no interior das rédes cristalinas é lentamente liberado se a solução do solo (isto é o film de / água que impregna e envolve as partículas do solo) se empobrece / fortemente em K.

- o caso dos solos que contêm minerais em via de alteração:

Solos jovens, ricos em muscovita, solos vulcânicos jovens, solos salpicados de cinzas vulcânicas.

A decomposição dos feldspatos e feldspatoides sobretudo, assim como a das micas (muscovita) libera o potássio: é um facto bem conhecido.

Precisa acrescentar um terceiro caso, mais misterioso:

- o caso dos pousios

Depois de 3 a 5 anos de cultura, solos de savanas bem /

dotados em K quando do desmatamento, começam a apresentar deficiências potássicas, o que é normal.

Quando se deixa estes solos em pousio gramado durante aproximadamente 2 anos, o abastecimento em potássio das plantas cultivadas se torna de novo normal por um outro período de alguns anos.

Conhece-se quase nada do mecanismo que, sob a influência das gramíneas de savanas, transforma assim o potássio não trocável numa forma assimilável pelas culturas.

5-6 - O POTÁSSIO NOS PRINCIPAIS TIPOS DE SOLOS TROPICAIS

Qualquer que seja o solo considerado, os teores em potássio trocável podem ser extremamente variáveis de um ponto à outro. Pode-se entretanto encontrar linhas diretoras em função dos tipos de solo.

5.61 - Solos ferralíticos, oxissolos, latossolos da zona úmida,

- Solos de savana:

Na África, constata-se as carências em potássio mais graves sobre os solos arenosos (pelo menos em superfície) e fortemente desaturados: todas as culturas são atingidas: dendê, caféiro, bananeira, plantas alimentícias.

Por isto, os fertilizantes potássicos dão resultados espetaculares: colocando-se 1 Kg de KCl (a 60% de K_2O) por ano e por dendezeiro, obteve-se uma multiplicação por 7 das quantidades de óleo colhidas (2000 Kg/ha em lugar de 250 a 300 Kg/ha). Na verdade, o solo continha originalmente apenas 0,02 m.e./100 gr de K, o que é muito pouco.

Quando o solo contém 20 a 30% de argila (e mais) em superfície, as deficiências em K somente aparecem depois de 2 a 4 anos de culturas.

Entretanto, alguns solos sobre basaltos do Cameroun são normalmente deficientes em K, qualquer que seja o teor em argila.

- Solos de floresta :

Em Yangambi, no Congo-Kinshasa, a destruição e a incineração da floresta equatorial forneceram ao solo 118 a 130 / Kg/ha de K trocável, mais uma quantidade pelo menos igual, de K não trocável (vegetais não queimados ou insuficientemente queimados), seja no total pelo menos 260 Kg/ha de K (metal) ou 310 Kg/ha de K_2O .

Colocando-se uma cultura arbustiva ou arborizada / (dendê, cafeeiro, etc...) junta a uma planta de cobertura, este enriquecimento se mantém durante bastante tempo: aproximadamente 10 a 13 anos. As carências em K aparecem depois deste tempo. (Rep. Centro Africana, Nigéria, Malásia).

Por isto recomenda-se trazer fertilizantes 2 ou 3 / anos depois do início da plantação, ou mesmo às vezes logo depois / do início.

Ao contrário, quando se trata de culturas alimentícias que cobrem mal o solo, as deficiências em potássio aparecem / já depois de 3 a 4 anos (Congo-Kinshasa, Brasil).

5.62 - Solos marrons eutrofos, solos ferralíticos fortemente / rejuvenescidos por erosão, ocrosolos.

Trata-se geralmente de solos relativamente ricos em potássio, com uma certa proporção de minerais mal decompostos provenientes da rocha-mãe e contendo potássio.

Constata-se portanto um certo esgotamento do solo / em potássio depois das retiradas feitas pelas culturas, mas só depois de vários anos: uma dezena de anos para os cacauzeiros de Gana (ocrosolos).

Na Tanzânia, uma cultura ininterrupta de trigo durante 11 anos faz baixar o K trocável do solo de 0,12 m.e./100 gr por ano, em média (teores iniciais fortes: 3,4 a 3,9 m.e./100 gr / de K trocável).

5.63 - Vertisolos

Têm-se poucas informações sobre este tipo de solo. Os vertisolos têm elementos trocáveis de todas as espécies, inclusive o potássio e as carências em K são raramente observadas.

Entretanto, é necessário pôr fertilizantes potássicos sobre os vertisolos do Havai, cultivados desde muito tempo em cana de açúcar.

5.64 - Solos ferruginosos tropicais, solos pouco evoluídos, Psamments, Haplustalfs

Trata-se dos solos da zona semi-árida

Na África, carências em potássio são raras, pelo / menos durante os primeiros anos que seguem ao desmatamento.

Em seguida, constata-se na maioria das vezes um certo esgotamento do K, decorrente das culturas repetidas (solos /

com amendoim do oeste e do norte do Senegal).

Entretanto, encontrou-se solos naturalmente carenciados em K: "mancha" de Patar no Senegal, solos sobre basalto de Tanzânia.

5.65 - Solos hidromorfos

- Solos dos arrozais inundados

Em Madagascar os arrozais dos Altos Planaltos, em torno de Tananarive, exigem uma fertilização potássica (foi mesmo calculado que 1 Kg de K_2O trazido ao solo dava um suplemento de rendimento de 12,2 Kg de arroz).

No Mali, ao contrário, nenhuma fertilização potássica é necessária; não foram constatadas carências em K depois de 20 anos de cultura.

Na Indonésia, arrozais irrigados por águas que circularam através de rochas vulcânicas em decomposição, ricas em K, vêem seus teores em K trocável aumentar no solo apesar das exportações devidas às culturas e às perdas inevitáveis.

- Solos hidromorfos turfosos

Caso dos bananais de Costa do Marfim. A bananeira / sendo o grande consumidor de potássio, as doses de fertilizante / trazidas são consideráveis.

5-7 - OS FERTILIZANTES POTÁSSICOS UTILIZADOS NOS SOLOS TROPICAIS

5.71 - Os tipos de fertilizantes minerais potássicos

São êles:

- o clorêto de potássio KCl (teor 60% de K_2O)

O mais barato dos fertilizantes potássicos é o que tem o teor mais elevado em K_2O .

É o fertilizante K, o mais utilizado no mundo.

- o sulfato de potássio SO_4K_2

É mais caro que o clorêto de K, logo menos utilizado. Entretanto, êle é preferido para o abacaxi.

- o metafósforo de potássio

- o nitrato de potássio

- o bicarbonato de potássio

O preço elevado dêstes 3 fertilizantes explica que êles sejam quase que exclusivamente utilizados nas parcelas experimentais das estações agrônômicas e nos laboratórios.

Entretanto, os 2 primeiros têm a vantagem de combinar o potássio com um outro elemento fertilizante (N ou P) e o 3º não traz anion acidificador do solo, tais como SO_4^{--} e Cl^- .

5.72 - Valor agrônomo dos diversos tipos de fertilizantes potássicos

A comparação trata unicamente do cloreto de potássio e do sulfato de potássio, os dois únicos fertilizantes utilizados / na prática.

Indiferença de certas plantas em relação com KCl ou /

K_2SO_4

Em doses iguais de K_2O , estes fertilizantes têm o mesmo efeito sobre o dendê, a bananeira, o fumo, o sisal, o abacaxi, a árvore do chá, o amendoim, o algodoeiro, o cafeeiro.

Entretanto, quando o solo é carenciado em enxofre, o sulfato dá melhores resultados (caso do amendoim no Senegal, do algodoeiro na Rep. Centro Africana, da árvore do chá na Indonésia, do cafeeiro no estado de São Paulo). Fornecendo-se enxofre de outra / maneira (por $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$ por exemplo) não se constata mais a superioridade do sulfato de K.

Porém constatou-se desde muito tempo (1906 na Flórida) que o abacaxi tinha uma massa mais escura, mais consistente e mais rica em açúcar com SO_4K_2 que com Cl K .

Da mesma forma, a combustibilidade do fumo seria aumentada pelo sulfato de potássio e diminuída pelo cloreto.

Nos dois casos, trata-se de uma qualidade comercial e não do rendimento bruto, que é o mesmo com os dois fertilizantes.

- Ação depressiva do cloreto de potássio

Esta ação depressiva do cloreto de potássio foi observada sob abacateiro, "ramie", batata doce (em Fomosa com doses superiores a 120-180 Kg/Ha de K_2O), sob feijão no Brasil, e mesmo / sob amendoim no Níger e algodão em Tanzânia. Estas duas plantas / tinham portanto, a reputação de ser indiferentes.

Para explicar estes fatos, pensou que:

- uma acidificação suplementar em solos já muito ácidos (caso do algodão na Tanzânia).

- uma concentração forte demais em sais solúveis sob climas secos ou em solos arenosos sobre dunas (amendoim no Níger), (talvez feijão no Brasil (?)).

- mas, para a maioria das plantas, abacateiro, "ramie", batata doce em particular, a ação depressiva do cloreto de K, quando existe, parece sobretudo provocada pela presença do ion cloro no solo, ao qual elas são extremamente sensíveis.

Esta sensibilidade ao Cl^- varia entretanto de uma espécie vegetal à outra, o que explica que muitas plantas sejam diferentes.

5.73 - Acidificação dos solos pelos fertilizantes potássicos

Os fertilizantes potássicos, sulfato de K ou cloreto de K, trazem ao solo anions SO_4^{--} e Cl^- que normalmente deveriam ser evacuados pelas águas de drenagem sob forma de sais solúveis de Ca, Mg e Na (e K naturalmente), os cations sendo tirados à partir do complexo absorvente do solo.

Na realidade, só raramente foi constatada uma acidificação importante do solo depois do aporte de fertilizantes potássicos. É verdade que as doses são geralmente modestas (100 a 120 kg/ha de K Cl, seja 60 a 75 kg/ha de K_2O), exceto sob as bananeiras que recebem ainda dolomita esmagada.

Capítulo VI

O fósforo nos solos tropicais

O fósforo é um dos elementos essenciais não apenas à vida das plantas mas também à das bactérias do solo, em particular às bactérias da humificação, muito sensíveis aos teores em fósforo do solo.

6.1 - ORIGEM DO FÓSFORO DOS SOLOS

O fósforo presente nos solos provém essencialmente da rocha mãe. Como é um elemento relativamente pouco lixiviado, os teores em P do solo refletem bastante fielmente os da rocha mãe: é assim que na África Ocidental encontrou-se jazidas de fosfatos sob os solos mais ricos em fósforo como no Senegal (região de Thies) e ao sul do Togo.

Para isto, é evidentemente necessário que os solos estejam no lugar: solos muito carregados e transportados possuirão teores de fósforo absolutamente independentes dos da rocha subjacente. Da mesma forma, quando se trata de solos muito velhos (solos ferralíticos), uma lixiviação muito fraca do fósforo durante centenas de milhares de anos, teve tempo de empobrecer os solos deste elemento.

Por qualquer um destes motivos, ou simplesmente porque a rocha mãe seja muito pobre em P, o fósforo é um elemento que falta muito na maioria dos solos tropicais.

6.2 - FORMA DO FÓSFORO NOS SOLOS

6.2.1 - Histórico dos estudos sobre o fósforo

Os estudos sobre o fósforo em zona tropical durante muito tempo foram prejudicados pela ausência de um procedimento analítico apropriado.

É assim que os métodos que dosam o fósforo ácido-solúvel, Método Truog por extração à H_2SO_4 0,002 N, Método Dyer com ácido cítrico, bem adaptados às regiões temperadas, só dão nas regiões tropicais cifras muito fracas, sem relação nítida com o que se encontra no solo.

De outra parte, os métodos que medem o fósforo alcalino-solúvel dão resultados bastante difíceis a interpretar, pois eles solubilizam uma grande parte do fósforo inutilizável pelas plantas (fosfato de ferro em particular).

Assim, apesar dos inconvenientes reconhecidos, os

pesquisadores tiveram durante muito tempo, tendência à considerar / como válida, somente a análise de fósforo total; isto até que o método de Chang e Jackson (1957) permitiram desvendar o problema.

Atualmente os pesquisadores da África de língua / francesa utilizam, além da análise do fósforo total, um método de dosagem do fósforo assimilável pelas plantas derivado do método / OLSEN e cujos traços gerais são grosseiramente, os mesmos que os / do método CHANG e JACKSON.

6.22 - As diferentes formas do fósforo nos solos segundo CHANG e JACKSON

Estes autores procedem por extrações sucessivas sobre a mesma amostra e definem as seguintes formas do fósforo no solo.

Fósforo solúvel	(extração com NH_4Cl)
" ligado ao alumínio	(extração com NH_4F 0,5 N)
" " ferro	(" " NaOH 0,1 N)
" " cálcio	(" " H_2SO_4 0,5 N)
" de inclusão ligado ao ferro	(extração com citrato de sódio 0,3 N)
" " " " alumínio	(extração com FNH_4 0,5 N)
" orgânico	

Estas diversas formas do fósforo podem existir em diferentes proporções em todos os solos do mundo, porém sua separação tem uma importância considerável nos solos tropicais onde as formas ligadas ao ferro são frequentes (enquanto que em muitos solos temperados as formas ligadas ao Ca dominam largamente).

6.221 - Formas do fósforo utilizáveis pelas plantas

Dentre as 7 formas de fósforo presentes nos solos, apenas P solúvel, P-Ca e P-Al, são diretamente utilizáveis pelas plantas nos solos tropicais que são geralmente muito ácidos e não calcáreos.

Quanto ao fósforo orgânico, só se torna assimilável, durante a mineralização da matéria orgânica.

O fósforo ligado ao ferro, praticamente não é utilizado pelas raízes das plantas e o das inclusões o é ainda menos. (Neste último caso uma película de hidróxido de ferro envolve P-Fe e P-Al, tornando-os totalmente insolúveis).

6.222 - As proporções relativas das diversas formas de fósforo

Elas estão na dependência do pH do solo, do teor / da matéria orgânica e, em proporção menor, do tipo de solo.

- para um pH vizinho de 7 (vertisolos neutros, solos ferruginosos tropicais vizinhos da neutralidade, solos ferralíticos fracamente dessaturados, solos "Bruns" neutrofos e solos / jovens formados sobre rochas básicas) há predominância de P-Ca e, numa medida menor de P-Al.

- para pH incluídos entre 5,5 e 6,8, sobretudo / quando o solo é pobre em cálcio (solos ferralíticos fracamente ou medianamente desaturados, solos ferruginosos tropicais) o P-Al é mais abundante que o P-Ca.

Ao mesmo tempo a importância de P-Fe cresce, tanto mais quanto o solo for mais ácido.

- À medida que o pH diminui, as formas de fósforo / ligadas ao ferro e à matéria orgânica tendem a aumentar fortemente às custas das outras formas, tais como P-Al e sobretudo P-Ca, que se torna muito fraco e, P solúvel que é nulo (solos ferralíticos).

- O fósforo orgânico está, ao que parece, em relação direta com os teores em matéria orgânica no solo.

Ele existe em todos os tipos de solo mas é sobretudo abundante em relação com as outras formas nos solos hidromorfos turfosos.

Exemplo:

Formas do fósforo nos solos ferralíticos de Costa do Marfim (segundo DABIN, 1963).

	Solos ferralíticos fortemente desaturados pH = 4,5			Solos ferralíticos muito fracamente dessaturados pH = 7
P ₂ O ₅ p.p.m.	solos erodidos	solos sob floresta	solos cultivados com adubos	solos muito férteis
P solúvel	0	0	0	traços
P-Al	17,3	28,8	74,2	96
P-Ca	5,75	4,6	14,2	174
P-Fe	138	115	104	17,2
P-Fe de inclusão	725	483	368	460
P orgânico	141	243	299	276
P total p.p.m	1027	876	859	1023

6.223 - Caso particular dos solos calcáreos

Trata-se aqui sobretudo de solos temperados, mediterrâneos e áridos.

O fósforo é aqui quase que unicamente representado pelo P-orgânico e o P-Ca; mas este P-Ca existe sobretudo sob forma de fosfato tricálcico que as plantas utilizam dificilmente e lentamente, seja por solubilização direta ao contacto com as raízes, seja por intermédio das bactérias e do humus que elas formam e que elas mineralizam em seguida. Daí a utilização como fertilizantes / fosfatados nestes solos, dos fosfatos mono e bicálcicos, dos super fosfatos e do fosfato de NH_4 .

6.23 - Reversibilidade das diversas formas do fosfato

O pH de um solo pode variar: em consequência pode-se observar uma modificação relativa das diversas formas de fósforo.

Por outro lado, o fósforo orgânico se mineraliza ao mesmo tempo que a matéria orgânica e, se ele não é imediatamente / absorvido pelas plantas, ele pode ser fixado preferencialmente:

pelo ferro nos solos muito ácidos

pelo alumínio nos solos fracamente ácidos (pH 6 a 7)

pelo cácio nos solos neutros ou alcalinos

Quando se coloca fertilizantes fosfatados, observa-se nos solos mais ácidos uma migração do fósforo em direção às formas mais insolúveis, isto é, as formas férricas.

Está certo que uma elevação do pH ou um enriquecimento em matérias orgânicas poderão provocar uma solubilização do fosfato ligado ao ferro, incluindo o que se encontra nas concreções ferruginosas. Por enquanto, não existe procedimento economicamente rentável para obter-se este resultado.

6.3 - OS TEORES EM FÓSFORO DOS SOLOS TROPICAIS E AS PLANTAS CULTIVADAS.

6.31 - A maioria dos solos tropicais sofrem de importantes insuficiências em fósforo

Esta constatação foi feita em todas as partes do mundo e para quase todas as culturas.

Assim, observou-se que o amendoim, planta portanto / pouco exigente, dava melhores rendimentos depois de uma adubação / fosfatada praticamente em todos os países produtores (MARTIN), quer seja na Ásia (Índia sobretudo), na África ou na América do Norte / ou do Sul.

6.32. - A análise do fósforo total

Ela pode ser praticada de duas maneiras:

- por fusão alcalina (extrai-se todo o fósforo sem exceção)
- por ebulição do solo durante 5 h, em NO_3H concentrado.

O segundo método não extrai exatamente a mesma quantidade de fósforo que o primeiro porque ele não consegue arrancar todo o fósforo dos edifícios cristalinos solidamente constituídos tais como a apertita ou as concreções de ferro.

Como seus resultados são muito mais facilmente reproduzíveis, ele é muito utilizado para os solos porque mais fácil a realizar que o primeiro.

O fósforo medido com este método, é chamado fósforo "total" "reserva agrônômica"; ele permite avaliar a fertilidade de um solo.

Exemplo I: solo ferralítico mediantemente dessaturado sobre xistos / na Costa do Marfim.

P_2O_5 "total"-reserva agrônômica	Rendimento em cacau
o/oo	Kg/Ha
0,15	100
0,25	300
0,35	600
0,45	800

Exemplo II: solos ferralíticos fracamente dessaturados do centro da Costa do Marfim utilizados para a lavoura algodoeira.

P_2O_5 "total" (reserv. agron.)	estimação da fertilidade
0,4 o/oo	solo muito pobre
0,4 até 0,7 o/oo	solo pobre
0,7 até 0,9 o/oo	solo médio
0,9 o/oo	solo rico

Infelizmente, como esta análise do fósforo inclui formas dificilmente acessíveis às plantas e que as proporções das formas úteis e inúteis para as culturas variam de um tipo para outro, sobretudo quando os teores em matéria orgânica variam, não se pode generalizar estas cifras, apesar de sua utilidade evidente localmente.

6.33 - A utilização da relação $\text{N}/\text{P}_2\text{O}_5$

Trata-se aqui do P_2O_5 extraído com NO_3H (reserva agrônômica). Cms

tata-se na maioria dos solos tropicais duas deficiências principais: azoto e fósforo. Um aumento dos fornecimentos em azoto deve, pois, ser acompanhado de teores do solo em fósforo maiores se se quer satisfazer as necessidades das plantas. Inversamente, se os teores em azoto do solo são muito baixos, os prelevamentos do fósforo pelas plantas são reduzidos em proporção.

Dai a utilização da relação N/P_2O_5 (DABIN, 1961)

Esta relação deve ser compreendida entre 2 e 4:

$$4 \geq \frac{N \text{ total o/oo}}{P_2O_5 \text{ total o/oo}} \geq 2$$

A relação não é mais válida se o pH é inferior a 5,5, porque há então predominância do fósforo ligado ao ferro, inutilizável pelas plantas.

Esta restrição feita, pode-se afirmar que a utilização da relação N/P_2O_5 é válida para todos ou outros solos tropicais porque ele implica em um bom equilíbrio entre as alimentações potássicas e azotadas quando ele está incluído entre 2 e 4.

Ela serve em particular para a determinação das necessidades das culturas em fertilizante; se $N/P_2O_5 > 4$: o solo é fortemente carente em fósforo; é inútil fornecer-lhe fertilizantes azotados se o teor em fósforo não for previamente levantado.

se $N/P_2O_5 < 2$: o solo é bem dotado em fósforo e os fertilizantes azotados sozinhos darão bons resultados.

se $4 < N/P_2O_5 < 2$: qualquer fornecimento de fertilizante fosfatado deve ser acompanhado de um fornecimento equivalente de azoto e vice-versa, senão pode-se criar um desequilíbrio.

N.B. Para as plantas muito exigentes em fósforo, tais como o caueiro, a relação N/P_2O_5 deve permanecer próxima de 2. Por outro lado, se o solo é muito pobre em azoto (0,20 até 0,30 o/oo de N) as necessidades em fósforo se manifestam muito mais rapidamente e os valores corretos da relação são então aproximadamente:

$$2,5 \geq \frac{N \text{ total o/oo}}{P_2O_5 \text{ "total" o/oo}} \geq 2$$

Este fato está ligado aos teores muito baixos de fósforo que existem geralmente nos solos já muito pobres em N.

Quando um solo possui uma boa relação N/P_2O_5

$$4 \geq \frac{N \text{ total o/oo}}{P_2O_5 \text{ "total" o/oo}} \geq 2$$

isto significa que as plantas cultivadas terão uma alimentação em N e P bem equilibrada e que elas não terão deficiência grave em um ou outro destes dois elementos.

Mas se os solos são pobres ao mesmo tempo em N e em P, os baixos teores destes dois elementos não serão suficientes para assegurar bons rendimentos. Para obtê-los será necessário fornecer N e P por intermédio de fertilizantes.

6.34 - O fósforo assimilável

Atualmente, na África de língua francesa, começa-se a dosar o fósforo diretamente utilizável pelas plantas, ou seja:

P ligado ao Ca

P ligado ao Al

P ligado à matéria orgânica (numa certa medida)

O reativo da extração é uma mistura de:

bicarbonato de Na a 0,5 N

fluoreto de amônio a 0,5 N

O pH da mistura deve ser exatamente de 8,5 (verificação com o pH metro).

Extrai-se então P-Ca, P-Al, P orgânico e P solúvel, quando este / existe. O fósforo ligado ao ferro praticamente não é tocado.

Evidentemente, obtém-se a soma deste fósforo assimilável, mas sem poder diferenciar suas várias formas.

Vantagem: este método é mais simples e mais rápido que o método / CHANG e JACKSON. Ele começa a ser utilizado somente depois de alguns anos e seus resultados são ainda parciais. Pode-se citar os dados seguintes:

teores críticos	cultura	região
140 ppm P_2O_5 ass. ou 60 ppm de P	algodão	Costa do Marfim
160 ppm de P_2O_5 ass. ou 70 ppm de P.	bananeiras	Antilhas Madagascar

Quando os teores em fósforo assimilável do solo são inferiores a estas cifras, é necessário fornecer fertilizantes fosfatados.

Pode-se também utilizar a relação $\frac{P_2O_5 \text{ assi. o/oo}}{N \text{ total o/oo}} = r$

como foi feito no Tchad em cultura algodoeira.

se $r > 1/10$ o solo necessita mais de fertilizantes N do que P

se $1/20 > r > 1/10$ o solo necessita tanto de fertilizantes N que P

se $r < 1/20$ o solo necessita sobretudo de fertilizantes P.

6.4 - INTERAÇÃO DO FÓSFORO COM OUTROS ELEMENTOS MINERAIS ALÉM DO AZOTO NA ALIMENTAÇÃO MINERAL DAS PLANTAS.

É um problema relativamente pouco estudado e complicado porque / se pode difficilmente distinguir uma interação simples entre o fosfato e um elemento dado de uma deficiência deste elemento, responsável pela parada do crescimento da planta ou mesmo sua morte, quando é a lei do mínimo.

6.41 - A lei do mínimo

Suponhamos um solo plantado com dendê contendo aproximadamente / 0,03 a 0,04 m.e./100 g de K trocável.

O rendimento dos dendês será muito fraco (250 a 300 Kg de óleo / por ha, por causa da carência em K). O fornecimento de fertilizantes fosfatados magnesianos e cálcicos, não modifica os rendimentos e a despesa feita com eles é perdida.

Mas, se se acrescenta ao solo sufficientemente potássio para atingir 0,10-0,12 m.e./100 g, os rendimentos aumentam muito. Ao mesmo tempo, a planta utiliza os outros elementos minerais que lhe são trazidos e que ela não podia aproveitar porque a deficiência em potássio bloqueava todo o seu mecanismo fisiológico. Daí um aumento suplementar dos rendimentos.

A lei do mínimo diz respeito não somente ao potássio, mas a todos os elementos químicos: P, N, Ca, Mg e, mesmo os oligo-elementos: cobre, boro, zinco, magnesião, molibdeno, etc...

O valor do mínimo varia em função dos rendimentos exigidos das culturas: assim, para o amendoim, em solos arenosos:

0,04 a 0,08 m.e./ 100 g de Ca trocável: o amendoim é gravemente / doente, muitas vagens ficam vazias. Os rendimentos são muito fracos.

Fracos teores de K, S, e P no solo, não têm nenhuma importância, não sendo o mínimo atingido pelo Ca.

1 m.e./ 100 g de Ca trocável no solo; a colheita atinge 800 a 1200 Kg de amendoim em casca.)

1,3 a 1,5 m.e./ 100 g de Ca trocável no solo, a colheita atinge a 2 toneladas por ha).

Naturalmente nos dois últimos casos, se os teores do solo em P, K ou S não alcançam o mínimo necessário, a quantidade colhida diminuirá muito, pois a lei do mínimo jogará para um desses elementos (ou os 3 ao mesmo tempo) e um bom teor de cálcio no solo não tem mais influência sobre os rendimentos.

6.42 - Interação Fósforo-Enxofre

Constatou-se essas interações:

- sobre o arroz pluvial (arroz cultivado em campos não inundados) na República Centro-africana.

- sobre amendoim no Senegal, na Alta-Volta e no Mali: o acréscimo de enxofre mineral ao fosfato tricalcico torna este último mais assimilável para a planta.

Como sabe-se que a maioria dos solos das regiões tropicais são deficientes em enxofre, é provável que a lei do mínimo joga para o enxofre.

6.43 - Interações fósforo-magnésio

Uma deficiência do solo em magnésio provoca uma absorção exagerada do fósforo pela bananeira (MARTIN-PREVEL).

6.44 - Interações fósforo-potássio

Sobre plantações de cacueiros na Costa do Marfim, uma adubação / potássica provoca uma melhor alimentação em fósforo à partir do solo, mesmo sem aporte de fosfatos.

Aí também, é provável que a lei do mínimo jogue para o potássio.

6.45 - Interações fósforo, magnésio, potássio, azoto

Observou-se sobre os cacueiros na Costa do Marfim, que um aporte incluindo fertilizantes fosfatados (fosfato bicálcico neste caso) provoca naturalmente uma absorção maior de fósforo e de cálcio para a planta, mas também / de magnésio, elemento que não foi trazido pelos fertilizantes.

Ao mesmo tempo, constata-se que a planta absorve menos potássio / do que azoto.

6.46 - Uma outra interação é extremamente interessante: é aquela que diz respeito à melhor utilização dos fosfatos tricalcicos pelo amendoim, quando se / enterra um adubo verde ao mesmo tempo que os fosfatos. Não se conhece bem o mecanismo desta ação: talvez ela se faça porque as bactérias mais numerosas em presença de adubo verde, decompõem mais rapidamente os fosfatos? Ou simplesmente porque o adubo verde melhora a estrutura do solo e que por isto as raízes / mais numerosas e mais finas têm mais possibilidades de se aproximar das partículas de fosfatos? Não se sabe responder.

6.5 - A DINÂMICA DO FÓSFORO NOS SOLOS TROPICAIS

6.51 - A lixiviação de fósforo no solo

6.511 - Qualquer que sejam os solos, o clima ou o tipo de exploração (vegetação natural, cultura, pousio, solo nu), o fósforo do solo é muito pouco arrastado pelas águas de percolação.

É a mesma coisa quando se acrescenta fertilizantes fosfatados: o fósforo fica no solo, inclusive nos solos tropicais da zona úmida, portanto fortemente lixiviado.

No Senegal, sobre solos ferruginosos tropicais arenosos, estimou-se a lixiviação do fósforo a 30 até 90 g de $P_2 O_5$ por hectares e por ano, sob vários tipos de pousio, o que é negligenciável.

Na Costa do Marfim, sobre solos ferralíticos mediantemente dessaturados cobertos de floresta densa (1800 mm de chuva), as perdas em fósforo são / de 0,7 até 1,2 Kg de P_2O_5 por hectare e por ano, perdas estas devidas à lixiviação e à erosão que não é nula, mesmo sob floresta densa.

6.512 - Sob cultura, as principais perdas em fósforo podem ser atribuídas à erosão, como no caso do potássio.

A partir do momento que se consegue reduzir consideravelmente a erosão ou mesmo a suprimi-la, o fósforo aparece como sendo o elemento que se / conserva melhor nos solos.

Quando há erosão (e perdas em terra de 20 T/ha/ano são bastante frequentes) é a camada superficial do solo, a mais rica em fósforo, que é levada, ocasionando perdas consideráveis em P_2O_5 .

6.52 - A insolubilização do fósforo no solo

Nos solos tropicais, existe um processo de transformação, ainda / mal conhecido, das formas do fósforo. Esta transformação termina com a insolubilização do fósforo sob forma de fosfato de ferro nos solos tropicais ácidos.

A curto prazo, nos solos ricos em ferro livre hidratado (goetita) mais de 50% do fósforo fornecido com os fertilizantes pode ser imediatamente insolubilizado sob forma de fosfato de ferro. Porém na maioria dos casos, (solos / contendo relativamente pouco de goetita), os fosfatos dos fertilizantes passam / sob forma de fosfatos de alumina: é em particular o caso da zona semi-árida, mas também em outros lugares se o $pH \geq 6$.

A longo prazo, parece que existe uma evolução lenta para o fosfato de ferro, pelo menos quando os solos contêm ferro, porém ela é ainda mal conhecida.

6.56 - OS FERTILIZANTES FOSFATADOS

Nos rótulos dos sacos de fertilizantes fosfatados, pode-se ler / as seguintes informações:

teor em P_2O_5 total

" " P_2O_5 solúvel com a água

" " P_2O_5 solúvel com o citrato.

Frequentemente escreve-se apenas:

teor em P_2O_5 total

" " P_2O_5 solúvel com a água e o citrato.

Nos solos calcáreos e nos solos de pH vizinhos de 7, somente P_2O_5 solúvel com a água e com o citrato é facilmente utilizado pela planta: isto é sobretudo válido para os solos temperados. Estudaremos mais adiante o caso dos solos tropicais.

6.61 - Os diferentes tipos de fertilizantes fosfatados

As fórmulas químicas dos fosfatados aqui são fórmulas teóricas /
que não levam em consideração as impurezas que contêm sempre estes fertilizan-
tes (calcário, H₂O, etc...).

Os teores em P₂O₅ são também fornecidos a título indicativo, por
que variam com as jazidas e o modo de purificação utilizado pelos fabricantes /
de fertilizantes.

6.611 - As formas insolúveis com a água e com o citrato

São essencialmente os fosfatos tricálcicos (PO₄) Ca₃ :

Fosfato tricálcico do Marroco teores: 25% P₂O₅

" " " Senegal " 37% "

"Schlamms" fosfatados (resíduos pu-
rificados da indústria dos fosfatos) " 23% "

6.612 - As formas contendo um certo percentual de P₂O₅ solúvel com a água e/ou com o citrato:

	P ₂ O ₅ total	P ₂ O ₅ solúvel com a água	P ₂ O ₅ solúvel com o citrato
Fosfato de alumina natural calcinado: PO ₄ Al	35%		26,4 %
Escória de defosforação Silicato fosfatado de Ca e Mg principalmente	18%	muito pouco solúvel	solúvel
Fosfato bicálcico (PO ₄ H ₂) ₂ Ca ₂ , SO ₄ Ca	38%	muito pouco solúvel	solúvel
Fosfato monocálcico superfosfato simples	18 a 25%	solúvel	solúvel
superfosfato triplo (PO ₄ H ₂) ₂ Ca	46%	solúvel	solúvel

6.613 - As formas onde o fósforo está ligado a um outro elemento fertilizan- te :

São formas realizadas por síntese química, geralmente caras, mas
onde todo o fósforo é solúvel com a água e/ou com o citrato.

Fosfato de amônio (PO₄) (NH₄)₃ 50% de P₂O₅

Metafosfato de potássio PO₄H₃ K..... 59% de P₂O₅

6.62 - Eficacidade das diferentes formas de fertilizantes

6.621 - Zonas equatoriais e zona tropical úmida: solos ferralíticos.

O pH dos solos ferralíticos é muito frequentemente inferior a 6,5 e mesmo a 6. Por isto, nêstes solos os fosfatos tricálcicos são relativamente facilmente solubilizados, se bem que lentamente; porém esta lentidão é um elemento favorável porque evita uma liberação rápida demais do fósforo que, na impossibilidade de ser imediatamente absorvido pela planta, seria insolubilizado pelo ferro.

De fato, utiliza-se o fosfato tricálcico para a bananeira (doses muito elevadas: várias toneladas por hectare), o cafeeiro, o cacauzeiro, o algodoeiro, o hévea, o dendê. Porém quando se compara os rendimentos das culturas / anuais (o algodoeiro sobretudo), depois do fornecimento separado de fosfatos / monocálcico, bicálcico, de alumina e de fosfatos tricálcicos, constata-se / no primeiro ano de cultura que as 3 primeiras formas, as mais solúveis, dão resultados equivalentes, sendo que as três são superiores ao fosfato tricálcico; mas, no segundo ano de cultura, não se observa mais diferença entre as 4 formas de P, à condição evidentemente que o $P_2 O_5$ total fornecido seja o mesmo em todos os casos.

Por isto, tende-se a reservar o fosfato tricálcico mais barato, às plantações permanentes: bananeiras (Costa do Marfim), hévea e dendê (Malásia). Entretanto, sobre cafeeiro e cacauzeiro, a tendência atual é utilizar os fosfatos mono e bicálcicos.

Para as plantas anuais, é evidente que são estas 2 últimas formas que devem ser utilizadas de preferência.

Quanto ao fosfato de alumina, ele é desaconselhado nêstes solos / fortemente dessaturados porque não traz cálcio susceptível de se fixar sobre o complexo absorvente.

6.622 - Na zona semi-úmida, com 800 a 1200 mm de chuva

O fosfato tricálcico dá bons resultados no primeiro ano de cultura somente se o ano é excepcionalmente chuvoso, enquanto que o mono, o bicálcico e o fosfato de alumina, conservam a mesma eficácia, mesmo quando o ano é relativamente seco.

No segundo ano de cultura, todas as formas de fosfatos têm a mesma eficácia.

Observa-se que o enterramento de um fertilizante verde conjugado com a adição de fosfatos, aumenta a eficácia destes últimos (interação adubo verde-fosfatos), sobretudo à dos fosfatos tricálcicos.

O fosfato de alumina é desaconselhado quando o solo é pobre em cálcio.

6.623 - Em zonas semi-árida e árida, com menos de 330 mm de chuva

Os fosfatos tricálcicos não têm mais efeito (exceto sob a isotermia 750-800, quando o ano é muito chuvoso).

À medida que a pluviometria diminui, deve-se preferir as formas cada vez mais solúveis.

Em torno de 400-500 mm de chuva, os fosfatos monocálcicos (superfosfatos), são os únicos que dão bons resultados.

6.624 - Caso particular dos solos calcáreos

Este tipo de solo é muito raro sob os trópicos. O fósforo, por causa do excesso de Ca, tende a se insolubilizar sob forma de fosfato tricálcico; este não se decompõe porque os pH destes solos estão entre 7 e 8.

Por isto, emprega-se formas com solubilidade elevada (superfosfatos) para que as plantas possam utilizá-las facilmente, frequentemente em doses anuais.

Às vezes, utiliza-se também o fosfato de amônio e o metafosfato de potássio, se bem que estes fertilizantes sejam caros.

6.63 - Adubação de fundo e adubação de cobertura

6.631 - A adubação de fundo é destinada a relevar em uma vez o teor de P_2O_5 do solo, graças ao aporte de quantidades elevadas de fosfatos:

2 a 5 T de fosfato tricálcico em cultura de bananeira (Costa do Marfim), sobre solos hidromorfos turfosos.

0,7 a 1,1 T de fosfato tricálcico sobre as culturas de amendoim e milho miúdo no Senegal, sobre solos ferruginosos tropicais arenosos.

Estas adubações de fundo, por causa de seu preço, são sempre realizadas com fertilizantes baratos, fosfatos tricálcicos e fosfatos de alumina, o primeiro sendo preferido, porque ele traz cálcio.

Entretanto, nos solos ricos em ferro livre (solos ferralíticos com goetita), por causa da insolubilização do fósforo pelo ferro do solo, têm-se interesse a pôr somente formas com dissolução lenta, tais como o tricálcico, e com doses relativamente fracas (1 a 2 toneladas), mesmo se se precisa repeti-las cada 3 ou 5 anos.

6.632 - A adubação de cobertura é destinada simplesmente a cobrir cada ano as necessidades das plantas.

Todas as formas solúveis do fósforo: o fosfato monocálcico, bicálcico, fosfato de amônio, metafosfato de K, são praticamente equivalentes e em todo o caso, superiores ao fosfato tricálcico.

A eficácia de uma única adubação de cobertura, muito sensível nos 2 primeiros anos, nunca ultrapassa 3 anos (insolubilização do P pelo ferro).

A adubação de fundo não dispensa de forma alguma a adubação anual

de cobertura, se se quer obter rendimentos elevados.

As doses utilizadas em adubação de cobertura, são muito variáveis segundo a riqueza do solo em fósforo e a presença ou não de uma adubação de fundo.

Em cultura algodoeira sobre os solos ferralíticos da África, utiliza-se entre 20 e 130 Kg/ha de P_2O_5 (em média: aproximadamente 90 Kg/ha de P_2O_5).

CAPÍTULO VII

O enxofre e as carencias em enxofre

7.10 - O ENXOFRE NOS SOLOS TROPICAIS

Uma grande quantidade de solos tropicais são mal providos em enxofre: assinalou-se deficiências (diminuição de rendimentos) e carencias (doença grave) provocadas por este elemento em todas as regiões tropicais, inclusive no Brasil (cafeeiro).

Apesar disto a importância do problema foi descoberta bastante tardiamente.

7.11 - Histórico da descoberta das carencias em enxofre

Os pesquisadores ingleses trabalhando na África Oriental, parecem ter sido os primeiros a observar, no ano de 1950, que o algodoeiro tinha importantes necessidades em enxofre e que esta planta sofria terrivelmente quando este elemento era deficiente no solo.

Em 1955 e 1956, agrônomos franceses, que normalmente utilizam / sulfato de amoníaco como fertilizante azotado sob algodoeiro, perceberam que a uréia não tinha nenhum efeito favorável sobre esta planta, ao contrário do sulfato de amoníaco, mas que o sulfato de soda, o sulfato de magnésio, o sulfato de zinco... aumentaram os rendimentos quase tanto quanto o sulfato de NH_4 . O enxofre era pois um elemento indispensável ao algodoeiro e além disto esta observação demonstrava que o solo (solo ferralítico da república Centro-africana), não o continha em quantidade suficiente.

Desde esta época (1956), constatou-se que a alimentação em enxofre condiciona por uma parte importante os rendimentos, não somente do algodoeiro, mas também de muitas plantas cultivadas e que sua insuficiência provoca, senão carencias caracterizadas, pelo menos importantes déficits de colheita.

Entre as plantas tropicais, as mais sensíveis ao enxofre pode-se mencionar o algodoeiro, o amendoim, a soja, o cafeeiro, o milho miúdo, o sorgo, o milho, etc...

7.12 - Os teores em enxofre dos solos tropicais

Por falta de um método analítico apropriado, até hoje se encontra na literatura agrônômica apenas alguns dados indicando quais podem /

ser os teores em enxofre dos solos, os limites de carencia cu os teores que podem provocar uma toxicidade.

7.121 - Um novo método recentemente elaborado nos laboratórios da ORSTOM (DABIN, 1970) e, ainda não passado ao uso comum, permite pensar, considerando / as primeiras cifras obtidas, que o enxofre representa aproximadamente o décimo/ do teor em azoto (portanto mais ou menos o centésimo do carbono orgânico no caso comum onde C/N $\approx$ 10), isto nos solos da África Ocidental.

Não se sabe ainda se este percentual é suficiente para evitar as carencias, ou se outros fatores intervêm, como a velocidade de decomposição da matéria orgânica ou sua natureza.

7.122 - A toxicidade do enxofre

Nunca foi constatada uma toxicidade devido ao enxofre nos solos, mesmo depois de aportes repetidos de fertilizantes que o contém, tais como o sulfato de amoníaco.

Porém, constatou-se, fazendo culturas sobre soluções nutritivas, que o intervalo era muito reduzido entre carencia e toxicidade: a ação do enxofre se assemelha a este respeito à dos oligo-elementos.

7.123 - O enxofre e os tipos de solos

É ainda muito cedo para se poder dizer com certeza os teores em enxofre dos diferentes tipos de solos.

Entretanto, observou-se sobre os solos ferralíticos da África, (pluviometria superior a 1200 - 1400 mm), que uma planta muito sensível à ação/ do enxofre como o algodoeiro, nunca apresenta carencia, nem mesmo deficiência / leve neste elemento, quando cultivada sobre um desmatamento de floresta.

Mas, sobre uma savana vizinha (distante as vezes de algumas centenas de metros), o algodoeiro sofria carencias muito graves.

Além disto, constatou-se que as carencias em enxofre, inicialmente muito elevadas, diminuíam progressivamente quando se cultivava o mesmo solo/ vários anos em seguida, mesmo sem trazer fertilizante contendo S.

Ainda não se pode dar nenhuma explicação destes dois fenômenos, que são observados sem que se possa compreender os motivos.

Sobre os solos da zona semi-árida, solos ferruginosos tropicais, solos "bruns" eutrofos, constata-se na África, deficiências em enxofre para o amendoim, a soja, o milho miúdo, o sorgo e sobretudo o algodoeiro, portanto diminuições dos rendimentos, porém raramente carencias graves; além do mais, todos os solos não são deficientes em enxofre, se bem que a maioria o sejam.

Para os vertisolos não se tem nenhuma informação.

7.2 - NECESSIDADE EM ENXOFRE DAS PLANTAS CULTIVADAS

A este respeito também não se tem muitas informações.

Para o amendoim no Senegal, estimou-se as necessidades em enxofre a 6 Kg de S por hectare.

Em outros países, são mencionados cifras mais altas (10 a 20 Kg de S por hectare).

Para o algodoeiro, que é muito exigente em S, acreditou-se muito tempo que precisava trazer tanto azoto quanto enxofre: $N/S = 1$; neste caso o / sulfato de amoníaco que contém em quantidade igual (ou quase) estes dois elementos, parecia o fertilizante mais indicado.

Atualmente, se pensa que uma relação $N/S = 2$ é suficiente, o que quer dizer que se pode substituir a metade do azoto do sulfato de amoníaco por uma quantidade equivalente de azoto proveniente de um fertilizante sem enxofre tal como a uréia.

Segundo HOMES, somente a forma SO_4^{--} é assimilável para as plantas.

Na prática, a forma de fornecimento do enxofre ao solo não tem muita importância: sulfato de amoníaco, sulfato de soda, enxofre mineral, etc.. não tem nenhuma importância porque o enxofre mineral é imediatamente transformado em sulfato (SO_4^{--}).

Somente num caso foi observado que o enxofre mineral diminuía / os rendimentos enquanto que o sulfato de potássio os aumentavam (abacaxis na Guinéa, segundo NY).

7.3 - A DINÂMICA DO ENXOFRE

7.31 - O ciclo do enxofre (ARNAUDI, CRAVERI, HOMES)

Ele foi sobretudo estabelecido para os solos temperados (Itália, Bélgica):

- oxidação do enxofre mineral em SO_4^{--} pelas bactérias (com sulfuros / como formas intermediárias).
- assimilação deste anion sob forma orgânica nas células das bactérias que são também capazes de absorver os sulfatos (SO_4^{--}) e sulfitos / (SO_3^{--})
- mineralização por oxidação, destes compostos orgânicos
- absorção dos ions SO_4^{--} pela planta.

7.32 - Os aportes de enxofre pela chuva

Eles seriam aproximadamente de 1 Kg de S por hectare e por ano na África Intertropical (ROTINI), em vez de 80 a 100 Kg na Europa, nas proximidades dos grandes centros industriais.

7.33 - A lixiviação do enxofre

O arrastamento do enxofre pelas águas de drenagem é conhecido / atualmente apenas por uma experiência em vasos lisimétrico feita no Senegal (pluviosidade de 800 mm) sobre solos muito arenosos. As perdas eram as seguintes por hectare e por ano:

pousio nu	10 Kg/Ha ano de S
" natural	8 " " " "
" natural enterrado	11 " " " "
milho miúdo adubo verde	9,6 " " " "
cultura de amendoim	8 a 11 " " " "
cultura de milho miúdo	32 a 54 " " " "

A última cultura, a do milho miúdo, tinha recebido 93 a 160 Kg / de S sob forma de sulfato de amoníaco, daí estas perdas elevadas, respectivamente 32 a 54 Kg/Ha/ano.

Mas, se não se fornece ao solo, fertilizantes contendo enxofre, a lixiviação do enxofre aparece relativamente constante, qualquer que seja o tratamento do solo: solo nu, pousio, adubo verde, cultura.

7.34 - O enxofre e a matéria orgânica

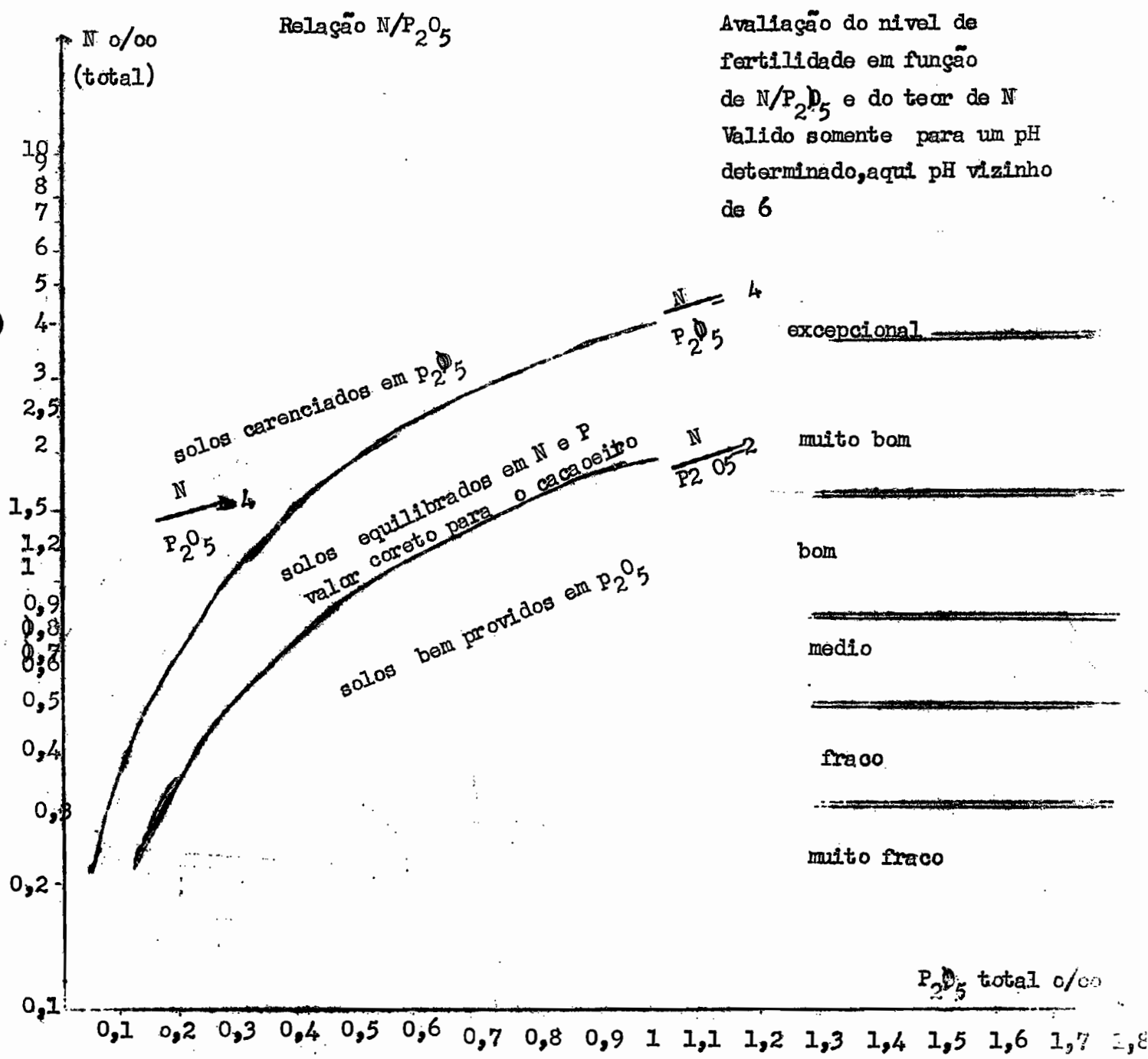
O fato que, sobre um mesmo tipo de solo, as carências em enxofre aparecem somente sobre os solos cobertos por uma savana herbácea e nunca sobre os solos de floresta.

O fato também que depois de vários anos de cultura (durante as quais a natureza da matéria orgânica muda um pouco e seu teor baixa fortemente), as carências em enxofre diminuem e depois desaparecem.

Tudo isto leva a supor que existe uma relação estreita entre enxofre e matéria orgânica.

Ainda não se sabe se as carências em enxofre estão sob a influência da natureza da matéria orgânica ou de sua velocidade de decomposição nos campos cultivados.

UTILIZAÇÃO DA RELAÇÃO N/ P₂ O₅



Avaliação do nível de fertilidade em função de N/P₂O₅ e do teor de N. Valido somente para um pH determinado, aqui pH vizinho de 6.

CAPÍTULO VIII

O cálcio, o magnésio e a soma das bases trocáveis nos solos tropicais

A correção do pH e os adubos calco-magnesianos

8-1 - ORIGEM DO CÁLCIO E DO MAGNÉSIO DOS SOLOS

O cálcio e o magnésio contidos nos solos provêm unicamente da rocha-mãe (fora os casos de aportes artificiais, evidentemente).

8-12 - As rochas cristalinas e cristalofilianas (metamórficas) contêm pouco cálcio, porém muito K quando ácidas (granitos alcalinos, riolitas, gnaiss alcalinos). Elas contêm muito Ca e pouco K quando básicas (gabros, dioritas, basalto, andesita).

Quanto ao magnésio, encontra-se nas duas categorias de rochas, porque ele acompanha sempre o cálcio (e o ferro) nas rochas básicas e faz parte da estrutura de minerais extremamente comuns nas rochas ácidas como as micas (muscovita-biotita).

8-13 - As rochas sedimentares têm teores muito variáveis em Ca e Mg.

Os quartzitos, os arenitos e as areias podem possuir apenas traços de Ca e Mg, exceto naturalmente se se trata de arenitos e de areias calcárias ou de arkósia (arenito e feldspato) ou de psamita (arenito com cimento contendo micas).

Ao contrário, os calcários, as dolomias, as margas, possuem grandes quantidades de Ca e de Mg.

Entre estes dois extremos, encontram-se todos os intermediários.

8-14 - Os teores do solo em cálcio e magnésio não refletem necessariamente os da rocha

Com efeito, cálcio e magnésio são elementos relativamente móveis no solo.

Apesar dos fenômenos bióticos de subida do Ca e do Mg pelas raízes das plantas em clima úmido (frio, temperado e equatorial) eles são fortemente lixiviados e levados em profundidade (e mesmo fora do perfil) na condição que o solo seja permeável.

Em clima árido, ou mesmo apenas seco, com estação / seca demorada, como o clima mediterrâneo, onde a evaporação é intensa, o cálcio (e o magnésio) seguem o movimento descendente da

água durante a estação chuvosa e o movimento ascendente das soluções do solo gera pela evaporação em superfície durante a estação / seca. Resultam disto concentrações de Ca / (e Mg) que podem tomar o aspecto de filamentos, de nódulos, de crosta apenas consolidadas ou mesmo de crostas muito resistentes.

Estas crostas, que podem ser formadas por calcáreo ou gipso ($\text{SO}_4 \text{ Ca}$) (nêste caso é preciso que a rocha ou as águas do lençol contenham gipso), produzem-se apenas em climas mediterrâneos e áridos e somente se a rocha-mãe fôr muito rica em cálcio.

Não se conhece crostas formadas apenas pelo magnésio.

As crostas calcáreas e gipsosas não existem em clima tropical, mesmo semi-árido; portanto, pode-se encontrar aí nódulos calcáreos, em particular na zona de balanço do lençol freático (solos hidromorfos em particular).

8-2 - FORMAS DO CÁLCIO E DO MAGNÉSIO NOS SOLOS

Como para os outros elementos (potássio, sódio), o cálcio e o magnésio se encontram nos solos sob forma trocável e / sob forma não trocável constituindo o conjunto cálcio e o magnésio totais.

8.21 - O cálcio e o magnésio trocáveis (solos não calcáreos)

Trata-se essencialmente do cálcio e do magnésio fixados sobre o complexo absorvente do solo, argila e humus.

- em todos os solos (ou quase), inclusive os solos/tropicais, o cálcio representa êle sozinho entre 60 e 80% da soma/das bases trocáveis; é portanto o cálcio que condiciona principalmente a saturação do complexo absorvente, logo o pH do solo.

O papel do magnésio na saturação do complexo absorvente é muito menor (5 a 20% das bases trocáveis em média), fora / alguns casos particulares como os vertisolos, onde êle pode representar 40 a 50% das bases trocáveis, ou das rendzinas magnesianas (sendo estas últimas muito raras).

Ao cálcio fixado sobre o complexo absorvente pode-se acrescentar provavelmente certos fosfatos de Ca hidratados dos solos ricos em Ca e P_2O_5 ; êstes fosfatos, pouco conhecidos são / provavelmente ligados ao humus (PO_4^{---} fazendo ponte entre Ca e o humus).

8.22 - O cálcio e o magnésio não trocáveis (solos não calcáreos).

Trata-se principalmente do cálcio e do magnésio extraídos pelo acetato de amoníaco neutro e normal.

Cálcio e magnésio dos elementos residuais da rocha-mãe (muscovita para as micas).

Cálcio dos elementos grosseiros, parcialmente ou totalmente calcáreos.

Magnésio das rédes argilosas das Illitas

Cálcio dos fosfatos tricálcicos.

Etc.

A abundância do Ca e do Mg não trocáveis é muito variável segundo a natureza da rocha-mãe, a idade dos solos e o clima (um velho solo ferralítico em clima equatorial os possui em pequena quantidade).

8.23 - Caso particular dos solos calcáreos

São solos formados sobre rocha-mãe calcárea e que / contém ainda uma grande quantidade de calcáreo original, geralmente sob forma de pó, areia, cascalhos e seixos, dentro do solo.

Naturalmente o cálcio (e às vezes o magnésio) não / trocável, existe em quantidade importante e o cálcio (e o magnésio) trocável satura a 100%, ou quase, o complexo absorvente; além disto, encontram-se sais de cálcio solúveis com a água (estes existem / também nos solos não calcáreos, mas em quantidades tão fracas que não se leva em consideração).

Além do mais, quando a rocha-mãe é formada de um calcáreo mole que se solubiliza facilmente nas soluções do solo, a parece uma outra forma chamada "calcáreo ativo" (que se determina / depois da extração com o oxalato de amônio pelo método DROUINEAU) que pode provocar acidentes nas plantas cultivadas quando absorvido em quantidades elevadas demais: ele insolubiliza o ferro destinado à formação da clorofila das plantas em carbonato de ferro insolúvel:



As folhas tomam uma cor amarelada característica e a planta morre nos casos mais graves.

Estes acidentes se produzem em clima temperado oceânico e dependem da resistência de cada planta ao calcáreo ativo:

o pessegueiro não aguenta mais de 6 a 10% de calcáreo ativo

a vinha pode tolerar até 12%, até mesmo 16
a pereira não o aguenta

trigo, a batata, a maior parte dos legumes cultivados (com exceção dos aspargos) são completamente indiferentes ao calcário a tivo.

8-3 - OS TEORES EM CÁLCIO E MAGNÉSIO TROCÁVEIS FAVORÁVEIS PARA AS CULTURAS.

IMPORTÂNCIA DA SOMA DAS BASES TROCÁVEIS E DA SATURAÇÃO DO COMPLEXO ABSORVENTE.

Pelo fato de que a soma Ca + Mg representa, na maioria dos solos, 70 a 90% da soma das bases trocáveis e que SBT é um elemento essencial da saturação do complexo absorvente (V), portanto do pH, a distinção feita aqui entre, por uma parte, os teores / em Ca e Mg e, por outra parte, SBT, V e pH artificial; na prática, é impossível dissociar estes fatores.

Isto explica também que os pesquisadores fizeram / poucos esforços para determinar os teores críticos em Ca e Mg; em particular, é raro que um solo possua Ca insuficiente para uma planta e antes que o teor limite tenha sido atingido (se é que ele existe para esta planta) a desaturação do solo é tão forte que os baixos pH provoquem acidentes frequentes: toxidades manganicas e aluminicas, insolubilização do molibdeno, parada da vida bacteriana, etc...

8-31 - Exemplos da influência dos teores em cálcio trocável / do solo sobre os rendimentos de algumas plantas cultivadas

Caso do amendoim:

- 0,4 a 0,8 m.e. de Ca para 100 g de terra fina: ca rência grave. O amendoim sofre da "doença das vagens vazias" (Nigéria do Norte).

- 1 m.e. de Ca para 100 g de terra fina: simples de ficiência. Os rendimentos são fracos, mas o amendoim não mostra si nais visíveis de doença (Senegal).

- 1,3 a 1,5 m.e. de Ca para 100 g de terra fina: os rendimentos são normais (Senegal, Israel).

Caso do dendê e da hévea

- 0,58 m.e. de Ca para 100 g de terra fina parecem / satisfazer o dendê.

A hévea parece ainda menos exigente.

É verdade que a hévea e o dendê são plantas particularmente ácido-resistentes.

8.32 - Exemplo da influência dos teores em magnésio trocável do solo sobre os rendimentos de algumas culturas

Caso do amendoim:

Mesmo nos solos muito pobres e empobrecidos pelas culturas do Senegal, nunca foi definido um teor limite em magnésio para esta planta.

Caso do cafeeiro Robusta (solos ferrelíticos da Rep. Centro-africana):

0,30 m.e. de Mg trocável no solo parece ser o limite abaixo do qual há deficit de alimentação em Mg para esta planta e diminuição do rendimento.

Caso do dendê e da hévea:

0,36 m.e. de Mg para 100 gr de solo parecem satisfazer o dendê e a hévea na Costa do Marfim.

Na Malásia, não é raro encontrar solos contendo 0,15 a 0,20 m.e./100 de Mg trocável, plantados com hévea; entretanto os postos de experimentação aconselham fornecer fertilizantes calco-magnesianos (dolomia esmagada) a este tipo de solos.

8.33 - Importância da soma das bases trocáveis para as culturas

Considerando a importância do cálcio (e numa medida do magnésio) na soma das bases trocáveis, muitos pesquisadores preferiram utilizar este último fator em lugar dos valores de Ca e Mg trocáveis.

8.331 - A soma das bases trocáveis

A quantidades de bases trocáveis presentes num solo condiciona o seguinte equilíbrio:

Bases trocáveis $\rightleftharpoons$ bases contidas na solução do solo. Como as plantas se abastecem quase exclusivamente a partir da solução do solo, uma grande quantidade de bases trocáveis indica que a solução do solo será regularmente reabastecida e, durante muito tempo, à medida que as raízes das plantas aí bombearão os elementos que elas precisam.

A soma das bases trocáveis indica pois a quantidade das reservas de elementos minerais facilmente utilizáveis pelas plantas.

Lógicamente seria necessário levar em consideração, a proporção das bases presentes no complexo absovente, portanto o grau de saturação V, por tanto numa medida menor, o pH.

Com efeito, é evidente que um solo quase completamente dessaturado (V= 5 a 10 % por exemplo), não entregará tão facilmente suas bases à solução

do solo (em todos os casos, ele as cederá menos) que um solo saturado a 90 ou 95 %.

Apesar disto, para a maior parte dos solos tropicais, pode-se aplicar, em primeira aproximação, a escala de fertilidade seguinte, estando bem claro que se trata das reservas de elementos trocáveis facilmente utilizáveis pelas plantas, isto quer dizer da possibilidade de fornecer uma quantidade mais ou menos importante de safras. Estando a fertilidade imediata em função do pH:

Soma das bases trocáveis	Importância das reservas em bases trocáveis facilmente utilizáveis
≤ 1 m.e./100 g	Reservas muito fracas
1,3 a 3 m.e./100 g	" fracas
3 a 6 " " "	" médias
6 a 12 " " "	" elevadas
12 a 24 " " "	" muito elevadas
> 24 " " "	" excepcionais

Escala válida para os solos contendo aproximadamente 2% de matéria orgânica (entre 1 e 3%) e 10% argila + silte $< 50\%$

- Se a soma argila + silte é inferior a 10%, precisa-se dividir estas cifras por 2.

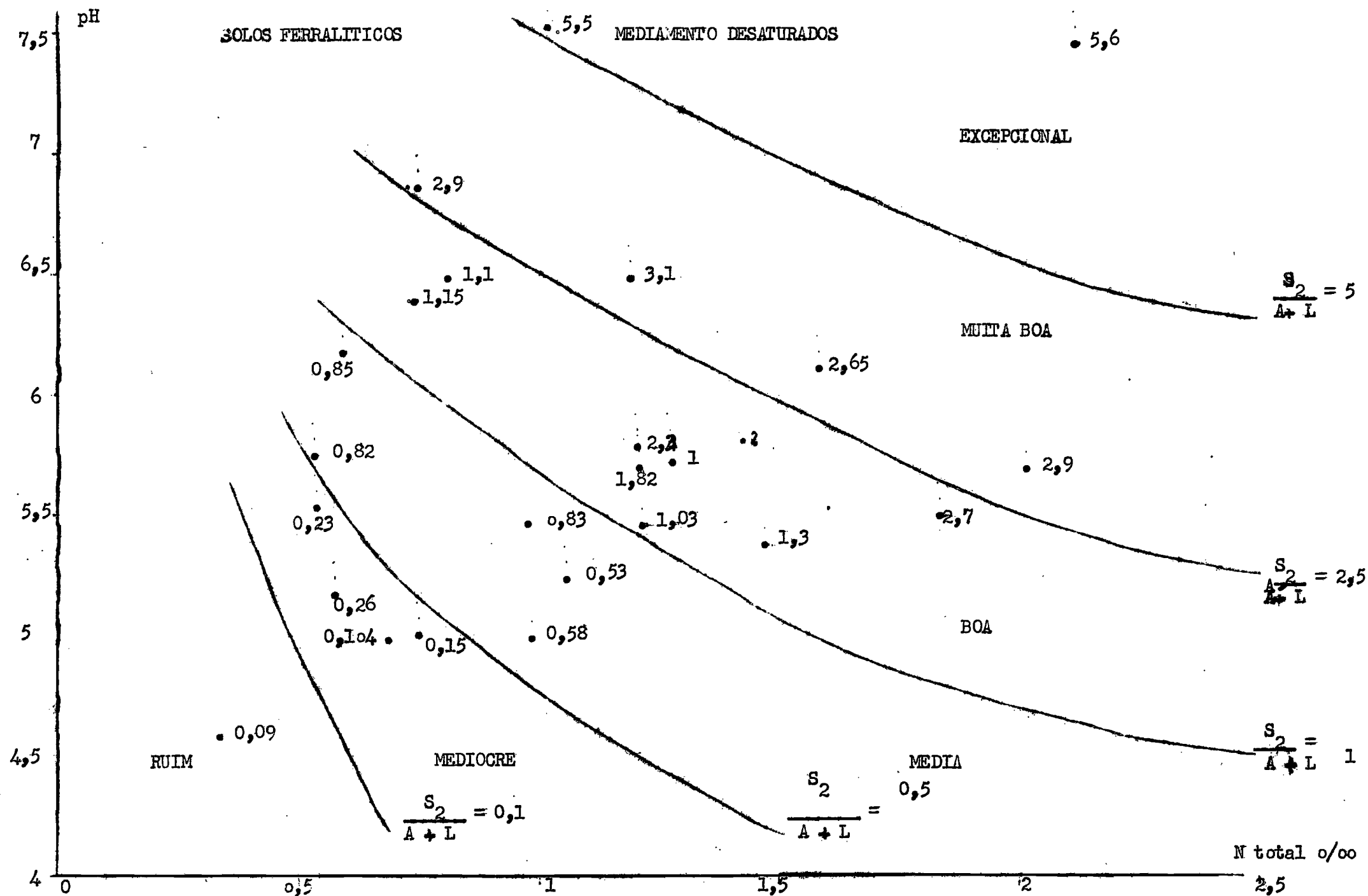
- Se a soma argila + silte é superior a 50%, é necessário multiplicar estas cifras por 2.

8.332 - A relação $\frac{(S + T)^2}{\text{argila} + \text{silte} \%}$

Esta relação tenta representar a saturação do complexo absorvente/ e assim, medir com que velocidade as bases trocáveis podem reabastecer a solução.

Uma escala de fertilidade foi estabelecida para os solos ferralíticos pouco dessaturados:

$\frac{S}{A + S}$	Avaliação da fertilidade
$< 0,1$	ruim
0,1 a 0,5	fraca
0,5 a 1	média
1 a 2,5	bom
2,5 a 5	muito bom
> 5	excepcional



Relação entre o teor em azoto total, o pH, a relação $\frac{S_2}{A+L}$ e a fertilidade em solos ferralíticos mediantemente desaturados

8-34 - Importância da matéria orgânica na avaliação da fertilidade dos solos ferralíticos

Nos solos ferralíticos, a capacidade de troca é em grande parte, função do teor da matéria orgânica; em consequência, esta contém a maior parte das bases trocáveis.

Entretanto, a escala de fertilidade precedente não leva em consideração a matéria orgânica; tentou-se corrigi-la para obter alguma coisa mais / precisa.

Dai o gráfico em anexo que representa os diferentes níveis de fertilidade, indicados por $S_2 / A + S$ em função do pH e do teor em azoto (N total).

N representa não somente o teor em azoto do solo mas expressa / também a quantidade de matéria orgânica (N estando contido em totalidade ou quase, na matéria orgânica). C/N = 8 a 12 num solo "normal".

O pH condiciona a velocidade da decomposição (mineralização) da matéria orgânica humificada, portanto a velocidade com a qual o azoto e as bases são colocadas à disposição das plantas.

Com pH = 7 esta velocidade é elevada. O solo não precisa de muito N e bases para ter uma boa fertilidade.

Com pH = 4,5 a velocidade de mineralização do humus é lenta: para ter uma fertilidade equivalente, o solo terá que conter uma quantidade importante de bases e de azoto.

O gráfico apresentado aqui como exemplo, diz respeito aos solos ferralíticos mediantemente dessaturados (V entre) e a avaliação da fertilidade que ele dá é a da fertilidade imediata para a cultura do ano.

8-4 - DINÂMICA DO CÁLCIO E DO MAGNÉSIO NOS SOLOS TROPICAIS

Os comportamentos do cálcio e do magnésio nos solos, são extremamente vizinhos e se pode dizer que seus fenômenos são praticamente as mesmas.

8-41 - A evolução pedológica dos solos é fortemente influenciada pelos / movimentos do cálcio e do magnésio.

Aliás, são sobretudo os movimentos do cálcio quem são notados, porque o magnésio, muito menos abundante, passa despercebido.

Assim como foi dito no início do capítulo, trata-se de dois elementos relativamente móveis, cujos movimentos ascendentes (em clima seco ou árido) e descendentes (climas úmidos) dão aos solos algumas de suas características.

É difícil determinar o limite inferior de pluviosidade a partir do qual a lixiviação (movimentos descendentes) para o ~~de~~ lugar as subidas / e as concentrações próximas da superfície: isto depende da permeabilidade do / solo e da rocha, da concentração da estação chuvosa (600 mm de chuvas caindo / em 4 meses sobre os trópicos, poderão provocar uma certa lixiviação, mas a mesma quantidade de chuva dividida sobre 7 ou 8 meses não a iniciará); isto depende também do tipo de solo.

Assim, no Senegal, há uma lixiviação bastante elevada do Ca e / do Mg nos solos ferruginosos tropicais muito arenosos, com 800 mm de chuva que caem em 4 meses; esta lixiviação parece fraca nos solos "bruns" eutrofos e mesmo nula sobre os vertisolos da mesma zona climática.

Em média, pode-se considerar que cálcio e magnésio são lixiviados sob os climas tropicais úmidos e semi-áridos, mas em proporções muito variáveis segundo o clima e o tipo de solo.

Mas deve-se também levar em consideração as subidas destes dois elementos pelas plantas (raízes, galhos e folhas, estas últimas voltando ao solo).

Dai um equilíbrio entre lixiviação e subida biótica que acaba / sempre por se realizar.

8.42 - As perdas em cálcio e magnésio nas terras cultivadas

O desmatamento quebra o equilíbrio entre lixiviação e subidas / bióticas.

Além disto, precisa-se levar em consideração as exportações pelas safras: porque os amendoins e milho colhidos são levados fora do campo / cultivado e eles contêm sempre uma certa quantidade de elementos minerais, dentro dos quais Ca e Mg.

8.421 - Experiências em vasos lisimétricos (solos ferruginosos tropicais / arenosos do centro do Senegal).

Trata-se aqui do Ca e do Mg perdidos pela camada superficial do solo (25 cm), ao mesmo tempo por lixiviação e por exportação.

	Lixiviação		Exportação	
	CaO Kg/Ha	MgO Kg/Ha	CaO Kg/Ha	MgO Kg/Ha
pousio natural queimado (ervas)	29,2	10,1	0	0
pousio nu	77,6	38,9	0	0
milho miúdo e adubo verde	25	4,3	0	0
Safras:				
amendoim	51 a 71	9 a 16	105 a 130	30 a 43
milho miúdo em grãos	111 a 158	25 a 48	30 a 86	6 a 26

Segundo esta experiência, nota-se que é o pousio nú quem provoca a maior lixiviação entre os três tipos de pousios considerados (esta lixiviação é mesmo maior que sob o amendoim) o que mostra que nunca deve se deixar um solo nú: isto não traz nenhum benefício e as perdas são tão elevadas (ou frequentemente mais elevadas) que sob culturas.

Naturalmente, uma cultura que cobre muito mal o solo, produz os mesmos defeitos que um solo deixado voluntariamente nú.

No início do ciclo cultural de 4 anos (aqui: adubos verdes enterrados - amendoim - milho múdo - amendoim) forneceu-se 228 Kg/Ha de Ca (88 Kg/1/4 somente sobre alguns objetos) sob forma de uma tonelada de fosfato tricalcico / enterrado junto com o adubo verde.

Apesar da importância deste aporte (completamente incomum por parte de camponeses) percebe-se que o balanço do cálcio é deficitário se se faz a soma da lixiviação e da exportação de duas culturas de amendoim e de uma de milho múdo.

Nenhum fertilizante magnesiânico foi fornecido.

Trata-se aqui de uma experiência em vasos lisimétricos de pequena dimensão, cujas cifras seria perigoso transpor assim mesmo para um campo cultivado; porém ela tem a vantagem de indicar o sentido do fenómeno e de medir tôda sua gravidade por cifras.

8.422 - Evolução do cálcio trocável no decorrer de quinze anos de cultura

Sul do Senegal (100 mm de chuva), a cultura contínua do amendoim e do milho múdo sobre solos ferralíticos fracamente dessaturados e solos ferruginosos tropicais, todos arenosos (13 % de argila).

	Cálcio trocável	
	solos ferralíticos	solos ferruginosos tropicais
	0 - 15 cm	0 - 15 cm
origem	2,0 a 3,0 m.e./100 g	1,1 a 3,9 m.e./100 g
depois de 6 anos	1,1 a 1,5 " " "	1,1 a 1,5 " " "
depois de 15 anos	0,57 a 1,25 " " "	<1 " " "

As perdas em Ca alcançam em 15 anos 1 a 4 toneladas de CaO por Ha, quase que totalmente por lixiviação: elas são ainda mais graves porque depois de 6 anos de cultura existe uma correlação estreita entre os teores em Ca trocável do solo e os rendimentos de amendoim (a principal cultura).

Em 15 anos as bases trocáveis diminuem de metade (S BT passa de 4 para 2) ao mesmo tempo que o pH diminui de 6,40 originalmente para 5,6/5,7 / depois de 6 anos de cultura e 4,6/5,1 depois de 15 anos.

8.423 - Comparação solo nú- solo cultivado em amendoim

Vale do Niari (Congo Brazzaville)- pluviometria de 1400 mm.

Trata-se aqui de um solo ferralítico dessaturado muito argiloso/ (60 a 70 % de argila em superfície).

A única cultura é o amendoim, cultivado exclusivamente com máquinas.

	savana testemunha	parcelas nuas de pois de 3 anos	parcelas com a- mendoim depois de 3 anos
pH	5,0	4,70	4,75
Ca trocável m.e/100g	1,71	0,89	0,82
Mg trocável " " "	0,20	0,04	0,04

Aqui também notou-se que o fato de deixar o solo nú esgota tanto o solo que de cultivá-lo.

Os rendimentos em amendoim são de 1120 Kg/Ha no 1º ano, 672 Kg/Ha, o segundo ano, 593 Kg/Ha o terceiro ano.

Notou-se que, nesta região, o principal motivo da baixa de fertilidade dos solos não era o empobrecimento em matéria orgânica, mas sim a lixiviação em bases.

Esta é tanto mais intensa quanto a estação seca (durante a qual deveria ter subida das bases em direção à superfície por causa da evaporação)/ for fria, nublada e sem sol; se bem que ela ... se prolongue durante 5 meses o solo só seca em superfície.

Além do mais, as chuvas mais fortes, portanto aquelas que provocam a lixiviação mais intensa, se produzem em maio, no fim da estação úmida: nesta época as culturas são maduras e não evaporam mais.

É a mesma coisa para a vegetação natural (grandes ervas de savana) que começa então a marchar, o que explica os baixos pH destes solos, mesmo nas terras não cultivadas, porque o solo, quer ele seja cultivado ou não, é sempre muito permeável.

Foi necessário procurar uma planta de pousio que estivesse em pleno período vegetativo neste momento, e portanto, que evaporasse muita água, (ela foi encontrada: é o *Stylosanthes gracilis*).

Em muitas regiões, recobre-se os solos com palha para evitar / uma evaporação elevada demais e conservar o máximo de água à disposição das plantas (cafeeiro, bananeiras). Mas neste país, impedir a evaporação é aumentar a lixiviação dos solos que já possuem muito poucas bases; será portanto contribuir para torná-los estéreis; este uso da palha é nocivo no vale do Niari, ao con

trário do que se passa na maioria das outras regiões tropicais do mundo.

O vale do Niari representa um exemplo da necessidade de adaptar/ as técnicas culturais ao micro-clima e ao pedo-clima.

Naturalmente numa outra região, com um micro-clima e um pedo-clima diferentes, serão adaptações diferentes que serão necessárias.

Em pedologia aplicada à agricultura, precisa-se sempre prever / que as regras gerais podem não se aplicar estritamente e que é frequentemente/ necessário adaptá-las à casos particulares.

8.424 - Conclusão sobre a lixiviação do cálcio e do magnésio

Nos exemplos precedentes, pôde-se ver a importância das perdas / em Ca e Mg nos campos cultivados ou num solo nu.

E portanto foi necessário esperar até estes últimos anos para / compreender-se que elas podiam ser nocivas para as culturas.

Com efeito, cálcio e magnésio (o cálcio sobretudo), são elementos relativamente abundantes nos solos e frequentemente as plantas precisam deles / em pequenas quantidades: são sobretudo as perdas em matéria orgânica e as diminuições de pH que de súbito tornam um solo completamente infértil: assim, no Senegal, nunca se deu conta que o cálcio e o magnésio eram insuficientes para o amendoim nos solos muito cultivados a oeste deste país.

A medida que as culturas se sucediam, os teores em Ca e Mg destes solos muito arenosos, diminuiam o pH orinalmente aproximadamente de 6,5, baixava progressivamente e os rendimentos em amendoim atrentavam graças à melhoria das técnicas de culturas e / às sementes selecionadas.

De repente, há 3 ou 4 anos, campos inteiros de amendoim só tiveram ainda plantas ameralas, raquíticas, que deram safras nulas: o pH tinha caído para 5,0 e menos e os rhizóbiums do amendoim tinham morrido (este limite de 5,0 é válido para estes solos / muito arenosos, 1 a 3% de argila; ela é certamente diferente para/ solos mais argilosos ou localizados sob outros climas).

O Senegal tem a sorte de possuir um pôsto agrônômico/ da melhor qualidade que encontrou imediatamente o motivo destes acidentes. Mas, é mais que provável que fenômenos do mesmo tipo se produziram em outros países do mundo, com outras culturas: um deles é conhecido: é a carência em molibdeno das culturas de soja do centro dos Estados Unidos, por causa da insolubilização do molibdeno em pH muito baixos.

Mas quantos outros ficaram inexplicados ou foram atribuídos a um misterioso esgotamento do solo? O agricultor abandonou sua roça e foi embora.

Tudo isto permite compreender porque os aportes de / fertilizantes calco-magnesianos são tão poucos frequentes em toda a zona intertropical e que os postos agrônômicos no conjunto, se preocuparam bastante pouco com este problema (O Brasil é um dos raros / países do mundo tropical a ter uma política de desenvolvimento dos fertilizantes calco-magnesianos).

A isto deve-se acrescentar o preço, sempre muito elevado, deste tipo de operação que desanima os agricultores.

8.43 - As concentrações em cálcio e magnésio

Em certos solos de climas mediterrâneos e áridos:

a evaporação é muito forte sob estes climas e a pluviosidade é frequentemente fraca; a subida das soluções do solo carregadas em Ca (e Mg) provocam a acumulação destes elementos em superfície ou perto dela, a acumulação que pode dar nascimento à crostas.

Em certos solos com hidromorfia de profundidade:

quando um lençol freático está carregado em cálcio, ele pode depositar calcáreo, geralmente sob forma de nódulos.

Em certas termiteiras:

certas termitas levam cálcio dentro de suas termiteiras, cálcio este que pode formar seixos calcáreos de alguns centímetros.

Os vermes de terra podem desempenhar um papel semelhante, mas em proporção muito menor. (a calcita que eles depositam é somente visível com o microscópio).

8.44 - O papel do pousio no aporte de cálcio e do magnésio na parte superficial do solo

As raízes das plantas de pousio (sobretudo quando se trata de árvores) vão procurar muito longe em profundidade os elementos minerais levados pela lixiviação e os incorporam às suas partes aéreas (hastes para as gramíneas, troncos e folhas para as árvores), às quais voltam ao chão depois de um certo tempo. As raízes / das gramíneas podem às vezes descer até 5 ou 6 metros de profundidade (observou-se mesmo 8 a 10 m para o trigo em Israel) se bem que a maior parte do sistema de raízes se encontra nos 30 cm superficiais. No momento do desmatamento, muitas vezes acompanhado da queima das plantas, há fornecimento maciço e brutal de elementos minerais que podem ser lixiviados porque não foram utilizados pelas

culturas nem incorporados ao complexo absorvente do solo porque / presentes em quantidade elevada demais (300 a 600 Kg/ha de $\text{CaO}+\text{MgO}$ depois queima da floresta equatorial).

Este papale do pousio é muito importante. Na ilha / Costa do Marfim (2000 mm de chuva, solos ferralíticos dessaturados ácidos), 4 anos de pousio herbáceo com *Penisetum purpureum* instalada sobre um campo esgotado pela cultura, faz subir a soma das bases trocáveis de 0,63 m.e./100 g para 2,5 m.e./100 g, quantidade / bastante notável para estes solos pobres.

Na república Centro-Africana, observou-se 3 anos de pousio da queima da floresta equatorial e plantação de cafeeiros, que a soma das bases trocáveis é de 11,19 m.e./100 g em vez de 2 a 3 / sob floresta e que os valores de pH variam de 5,7 para 7,25 (por causa da irregularidade dos aportes de cinzas) em vez de ser 5,7 a 5,8 sob floresta. Na verdade trata-se aqui de uma jovem plantação de cafeeiros cujas interlinhas são ocupadas por uma planta de cobertura (*Pueraria Javanica*, *Stylosanthès gracilis*, *Centrosoma pubescens*, etc...); a associação do cafeeiro e da planta de cobertura recobre muito bem o solo o ano todo e limita ao máximo a lixiviação.

No caso de culturas anuais, que cobrem muito menos / o solo, todas as bases trazidas pela queima da grande floresta desaparecem num prazo que pode variar de 3 para 5 anos (Congo Kins - hasa).

O pousio tem pois, um papel importante, muito importante mesmo, para substituir as bases trocáveis desaparecidas no / decorrer das culturas: é um procedimento seguro, econômico e que / continuará a ser utilizado nas regiões tropicais durante ainda muito tempo.

Seus principais inconvenientes são: o tempo (20 a 30 anos para um pousio florestal, 4 a 5 vezes o período de cultura para os pousios herbáceos), que inutiliza espaços imensos e o grande trabalho de desmatamento que só pode ser feito com a mão.

É portanto, um procedimento utilizável apenas nos países pouco povoados e com fraca produtividade agrícola.

8-5 - O PROBLEMA DOS CORRETORES CALCO-MAGNESIANOS.

8.51 - Vantagens e desvantagens dos corretores calco-magnesianos

8.511 - As vantagens são:

- Uma elevação do pH até os valores mais favoráveis às culturas e supressão dos acidentes provocados pelos baixos pH.
- Um aumento da atividade bacteriana dos solos e em particular das do ciclo do azoto; daí um fornecimento maior e mais regular de azoto (mineralização do húmus).
- A obtenção de teores em Ca e Mg convenientes para as plantas.

8.512 - Os inconvenientes são:

Fora um custo sempre elevado, notou-se principalmente:

- uma blocagem de oligo-elementos e mais particularmente, do zinco, do cobre e do boro que se tornam inassimiláveis / para as plantas. Estas blocagens se produzem geralmente depois de aporte maciços de fertilizantes calcários e parecem principalmente provocados pelas subidas brutais de pH.

- Uma combustão acelerada da matéria orgânica: isto / foi particularmente notado na zona temperada, onde agricultores / quiseram fazer subir até 7 o pH de solos arenosos ácidos (podzois / e solos podzólicos) cuja matéria orgânica (moder ou mor) representava todo o potencial de fertilidade; a vida bacteriana se desenvolveu rapidamente provocando a mineralização da totalidade do húmus. Em alguns anos o solo se transformou em uma areia branca infértil.

Quando se trata de um solo a mull com mais de 20 % de argila, tais acidentes são raros.

Na zona tropical úmida ou semi-árida, não foram observadas diminuições importantes do teor em matéria orgânica, pelo menos até hoje, exceto sob cultura de bananeira em solos turfosos, na Costa do Marfim: mas, neste caso, não se sabe muito bem se se deve atribuir à drenagem ou aos aportes calco-magnesianos a diminuição da espessura (20 cm em 4 a 5 anos) deste solo turfoso depois de 5-6 anos.

Nos solos arenosos do Senegal, já empobrecido em matéria orgânica as experiências não parecem ter notado uma diminuição apreciável do magro estoque de matérias orgânicas.

8.52 - As duas concepções do fornecimento de corretores calcá

8.521 - O aporte maciço de corretores afin de obter um pH / de 7, ou pelo menos vizinho da neutralidade

Quer-se alcançar imediatamente um pH vizinho da neutralidade e, em consequência, coloca-se no solo, quantidades importantes de cal, de calcáreo ou de dolomia. Esta concepção da "correção da fertilidade do solo" é defendida em particular por CHAMINADE e foi motivo de muitas experiências em Madagascar onde se conseguiu realizar boas safras sobre terras outroras completamente infértis.

Para calcular as quantidades necessárias de CaO, determina-se o pH das suspensões contendo um peso dado de solo e um volume conhecido de água de cal; obtém-se assim, a quantidade necessária para conseguir um pH de 6,5 a 7. Basta em seguida fazer a extrapolação destes resultados para o hectare (4500 T de terra de 0 a 30 cm).

Nos solos tropicais pode-se calcular a quantidade de Ca (e Mg) necessária para substituir todos os ions H e todos os ions Al do complexo absorvente (método CEPLAC para a cacaueiro em Itabuna).

A quantidade de CaO é frequentemente muito elevada: da ordem de várias dezenas de toneladas de CaO por hectare para os solos ácidos, ou seja a manipulação de um peso praticamente duplo ou triplo de calcáreo esmagado.

8.522 - O aporte de corretores calco-magnesianos apenas suficiente para conservar o pH se é favorável, ou aumentá-lo um pouco se ele é fraco demais e fornecer Ca e Mg em quantidades suficientes para as plantas.

Os partidários deste método partem do princípio que a maioria das plantas tropicais aceitam pH incluídos entre 5,5 e 6,5 para fornecer rendimentos bastante razoáveis e que é inútil arriscar acidentes de carência em oligo-elementos tentando corrigir o pH para chegar a 7. Por outro lado, a agricultura tropical sendo uma agricultura pobre, os camponeses são geralmente incapazes de pagar o custo elevado dos aportes maciços.

- Se o pH já é favorável, como um pH de 6 para o amendoim no Senegal, traz-se todos os 4 anos uma tonelada de fosfato tricálcico natural por hectare. O preço é relativamente baixo / porque as jazidas existem no próprio país e que o fosfato, sal neutro que não eleva o pH, fornece suficientemente cálcio no momento de sua dissolução para compensar lixiviação e exportação.

- Se o pH é baixo demais, faz-se-o subir apenas o bastante para obter-se bons rendimentos.

Assim, as turfeiras de Costa do Marfim, onde se encontram as bananeiras, têm pH de 4 muito insuficientes; traz-se então dolomia esmagada (5 a 10 T/Ha) para botar o pH entre 5,5 e 6; em seguida, fornece-se todos os 2 ou 3 anos fosfato tricálcico e dolomia esmagada (a bananeira é um grande consumidor de magnésio) para manter este pH.

8.53 - Permanência nos solos dos aportes calcáreos e calco-magnesianos e seus efeitos sobre o pH

Vários dados, relativamente recentes na maior parte, vão certamente desempatar os partidários de um outro método.

É a constatação da intensidade da lixiviação, nos solos tropicais, do cálcio e do magnésio trazidos pelos corretivos.

Esta lixiviação é evidentemente tanto mais intensa/ quanto mais o clima for chuvoso e o solo mais permeável. Pode-se / considerar que ela se produz ainda (embora fracamente) nos solos arenosos até perto de 500-600 mm de chuva.

Exemplos:

- Na baixa Costa do Marfim (2000 mm de chuva) sobre solos ferralíticos arenosos dessaturados, foram trazidos sobre plantações de bananeiras 5,5 T de dolomia esmagada; daí um pH de 5,5 e um coeficiente de saturação V de 70%. 3 anos depois, sobrava apenas 25% do cálcio e 30% do magnésio trazidos. Apesar das exportações pelas safras, pode-se considerar que os 9/10^{os} destas perdas/ são devidas à lixiviação.

- No Congo-Brazzaville, no vale do Niari (1400 mm de chuva em 8 meses), sobre solos ferralíticos dessaturados argilosos (60-70% de argila em superfície), com pH entre 4,3 e 5,3, duas toneladas por ha de cal agrícola (62% de CaO - 3,3% de Mg O) fazem subir o pH de pelo menos uma meia unidade de pH. Entretanto, depois de um ano de cultura, este pH volta ao seu valor inicial ou mesmo diminui em relação a este.

- No Senegal (800 mm de chuva concentrados em 4 meses), sobre solos ferruginosos tropicais arenosos (1 a 3% de argila), com fraca capacidade de troca ($T=2,8$) e ácidos (pH= 5,8), o aporte de 1,2 toneladas de cal agrícola por ha (seja 780 Kg/ha de CaO), levanta instantaneamente o pH de 5,80 para 7,7. Mas depois / de 3 anos de cultura, o pH voltou a 6,20.

Nestas condições, 300 Kg de cal agrícola por hectare (195 Kg de CaO) permitem apenas de manter o pH inicial.

Estes três exemplos permitem tomar consciência da intensidade da lixiviação do cálcio e do magnésio trazidos pelos corretores.

Como o fenômeno é tanto mais intenso quanto os aportes são mais importantes, parece pois inútil, tentar trazer imediatamente quantidades consideráveis. É provavelmente melhor, fazer todos os 2, 3 ou 4 anos aportes menores para conservar o potencial existente de fertilidade.

8.5⁴ - Conclusão sobre os corretores cálcicos e calco-magnesi- anos

- Se o pH e os teores em Ca e Mg são favoráveis às culturas, o único problema é conservar estas condições favoráveis.

A solução preconizada no Senegal, país produtor de fosfatos, é botar todos os 4 anos uma tonelada de fosfato tricálcico natural local por hectare (37% de P_2O_5 , 50% de CaO) que traga / ao mesmo tempo Ca e P, porém sem elevar o pH.

Em outros países, que não têm fosfatos, mas calcários e dolomias, utiliza-se estas 2 rochas.

- Se o pH é realmente baixo demais (diminuição dos rendimentos, toxicidades do manganês e do alumínio) ou os teores em / Ca e Mg fracos demais, é necessário se resolver a utilizar doses / elevadas se não se quer ser obrigado a abandonar a cultura.

Como exemplo, seguem as quantidades recomendadas no sul do Senegal (pluviosidade 1100 mm concentrados em 5 meses) sobre solos arenosos (13% de argila T= 3,8, V= 47%) para colocar o pH entre 6 e 6,5 (pH no princípio o mais favorável para o amendoim:

pH	toneladas de CaO/Ha
4,5 - 5,0	2,0 - 2,5
5,0 - 5,5	1,5 - 2,0
5,5 - 6,0	1,0 - 1,5
6,0 - 6,5	0,5

(pode a última ser substituída por 1 T de fosfato / tricálcico já que não se trata mais de levantar o pH, mas de mantê-lo).

Normalmente, esta operação deveria ser recomendada / todos os 4-5 anos, mas os pedólogos responsáveis aconselham prestar muita atenção à evolução do pH dos campos cultivados (segundo / CHARREAU e FAUCK).

Quais são as formas de corretores cálcicos e calcio-
magnesianos a utilizar?

O cal agrícola (cal apagado $\text{Ca}(\text{OH})_2$ impura) tem um efeito rápido e brutal: ele pode provocar uma combustão acelerada/da matéria orgânica se bem que isto nunca foi observado nos países tropicais. Parece que o cálcio que ela traz é bastante facilmente/lixiviado.

Por isto, prefere-se em geral, sobretudo nas climas úmidos, utilizar formas com dissolução lenta tais como o calcáreo/ (CO_3Ca), a dolomia $\text{CO}_3\text{Ca} - \text{CO}_3\text{Mg}$ ou o fosfato tricálcico que liberam progressivamente os cations e são portanto menos sensíveis à lixiviação.

Nota-se que somente as bases como o cal ou os sais alcalinos (calcáreo e dolomia são sais formados à partir de uma base forte $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ou $\text{Mg}(\text{OH})_2$ e de um ácido fraco CO_3H_2) são capazes de relevar o pH. O fosfato tricálcico (resultado da combinação de um ácido forte PO_4H_3 e de uma base forte $\text{Ca}(\text{OH})_2$) é um sal neutro que não dá nenhuma alcalinidade ao solo e é portanto incapaz de relevar o pH. Entretanto, sua dissolução no solo é tanto mais fácil quanto o pH for mais ácido (ela é praticamente nula com / $\text{pH} > 7$) libera ions que vão se fixar sobre o complexo absorvente, impedindo assim que este último se sature progressivamente em ions H e Al .

CAPÍTULO IX

O sódio e o problema dos solos e das águas carregadas em sódio

9.1 - ORIGEM DO SÓDIO NOS SOLOS

O sódio é um elemento particularmente abundante nas rochas que dão origem aos solos.

9.1.1 - Caso das rochas cristalinas, cristalofílicas e das lavas

O sódio está presente em certos minerais destas rochas:

Feldspatos alcalino-terrosos ou plagioclases:

série da albita a anortita:

albita	90-100 % de Na	0-10 % de Ca
oligoclásio	90- 70 % de Na	10-30 % " "
andesina	70- 50 % " "	30-50 % " "
labrador	50- 30 % " "	50-70 % " "
bitumita	30- 10 % " "	70-90 % " "
anortita	10- 0 % " "	90-10 % " "

São portanto as rochas com albita, oligoclásio e andesina que contêm a maior quantidade de sódio, isto é, os granitos alcalinos, os grano-dioritos (que são com oligoclásio), os dioritos, as riolitas, as andesitas; os gneiss.

Feldspatoides com sódio (nefelina sobretudo):

as rochas ricas em nefelina: sienitas, nefelinicas, fonolitos, com têm muito Na.

Alguns piroxênios com Na, como a aegirina e a argita aegirínica / existem com bastante raridade, nos gabros e mais frequentemente nas rochas metamórficas.

Alguns anfíbolos são sódicos: riebeckita, glaucofana. Elas existem sobretudo nas rochas metamórficas (cristalofílicas).

Em geral, quanto mais rica em cálcio, ferro e magnésio é uma rocha, menos sódio ela tem.

Entretanto, não se deve esquecer que rochas já bem providas em Ca, Fe e Mg, como os basaltos e os gabros, possuem o labrador com plagioclase. Sua decomposição vai liberar pois, quantidades relativamente importantes de Na.

9.1.2 - Caso das rochas sedimentares

Fora o caso particular dos sedimentos lacustres, as rochas sedimentares nasceram no mar. Não é pois para estranhar encontrar-se sódio em várias rochas sedimentares. Entretanto elas foram geralmente "lavadas" pelas águas da chuva e o contém relativamente pouco.

Para que o sal seja conservado, precise de condições particula

res: rochas argilosas impermeáveis contendo Cl Na, formações saliféricas incluídas entre duas camadas de argila impermeáveis.

Assim, em particular, as formações do Triássico Médio (início do Secundário), contêm quase tôdas jazidas de sal. Este Triássico salífero (e giposo), provoca grandes dificuldades à agricultura dos países da África do Norte, porque quase tôdas as águas dos rios têm oportunidade de atravessar afloramentos do Triássico.

Os sedimentos marinhos recentes (polder da Holanda; solos de mangue, etc...), são frequentemente muito ricos em cloretos.

9-2 - DINÂMICA DO SÓDIO NOS SOLOS

9.21 - O sódio é um elemento particularmente móvel

Todos os compostos do sódio são altamente solúveis: Cl Na, carbonatos e bicarbonatos ($\text{CO}_3 \text{Na}_2$ e $\text{CO}_3 \text{HNa}$), sulfatos ($\text{SO}_4 \text{Na}_2$), sulfuros (SNa_2).

Por outro lado, o sódio, cation monovalente, é menos fortemente retido sobre o complexo absorvente que o cálcio ao qual ele deixa facilmente o lugar, desde quando este seja suficientemente abundante. A partir do momento que a pluviosidade seja abundante e a drenagem suficiente, o sódio é levado na sua maior parte nas águas de percolação em direção aos rios e ao mar. É um fenômeno importante porque a maioria das plantas não aguentam fortes teores de sol em sódio.

Entretanto, nos países áridos onde a evaporação é muito forte e onde as águas de irrigação ou do lençol freático são salgadas (mesmo muito pouco), o sódio segue o movimento da água por subida capilar e vai se acumular na superfície do solo onde ele mesmo pode formar eflorescência salinas.

Cada chuva um pouco importante faz diminuir o teor de Na no solo e cada período de seca faz aumentá-lo.

9.22 - O sódio pode se acumular nas depressões fechadas

Estas depressões podem ser de tamanho variável: alguns hectares / ou quilômetros quadrados até mesmo cobrir países inteiros como o sul da Argélia / ou o sul da Tunísia, a bacia do Tchad ou as bacias dos grandes lagos da África oriental ou ainda os Turquestanos russos e chineses. O grande Lago Salgado dos Estados Unidos não é outra coisa senão uma destas depressões fechadas onde o sódio veio se acumular.

Entretanto, para se ter acumulação importante de Na, é necessário que a evaporação seja elevada, maior do que os aportes de água pela chuva e os rios; senão a depressão forma um lago que acaba por transbordar e grande parte /

dos sódios vai embora com as águas de transbordamento (caso da bacia central do Niger e dos grandes lagos africanos atualmente; caso do lago Tchad durante o início do Quaternário).

Se as rochas que envolvem a depressão, são cristalinas (granito, granodiorita), cristalofilianas (metamórficas) ou lavas, o sódio, liberado pela alteração dos plagioclásios em particular, se combina com o CO_2 do ar para formar carbonatos $\text{CO}_3 \text{Na}_2$ e às vezes bicarbonatos ($\text{CO}_3 \text{H Na}$). Ele é transportado sob esta forma até o lago ou a várzea do fundo da depressão.

Alí, as condições redutoras que dominam o farão se combinar parcialmente em sulfuro com o enxofre proveniente do solo ou da decomposição dos vegetais; estes sulfuros se oxidam em sulfatos se a várzea se desseca durante algum tempo. Naturalmente na presença do cloro, ele poderá dar cloreto de sódio (mas, neste exemplo preciso, o cloro existe geralmente em pequena quantidade).

O natrão é uma mistura de $\text{CO}_3 \text{Na}_2$, $\text{SO}_4 \text{Na}_2$ e Cl Na (este último menos abundantes que os 2 primeiros) frequentes nestas depressões.

Se as rochas que envolvem a depressão são rochas sedimentares:

desta vez, é o cloreto de sódio que vai se acumular na depressão, muito mais abundante que os sulfatos e carbonatos de Na. É o caso em particular dos chotts das regiões áridas do sul da Argélia e da Tunísia, das depressões do Saara, do Atlântico até o Mar Vermelho.

Os chotts são vastas extensões completamente horizontais, embranquecidas pelo sal (Cl Na); raspando-se a superfície, encontra-se rapidamente um sedimento escuro: com efeito, geralmente estes terrenos sedimentares possuem gipsa ($\text{SO}_4 \text{Ca} \cdot 2 \text{H}_2 \text{O}$), que se reduz em sulfuro no fundo dos chotts.

Os chotts são somente cobertos de água durante alguns dias ou algumas semanas por ano.

Se os sedimentos são aportes marinhos recentes:

pode-se ter também terrenos salgados sobre tais sedimentos:

- seja porque a pluviosidade é insuficiente para lavar o Cl Na : / caso do litoral sul da Tunísia, dos litorais da Líbia, do Mar Vermelho, do Golfo Pérsico, do nord-oeste do México etc...

- seja porque há ainda aportes ocasionais de água do mar (grandes marés, tempestades).

É o caso dos mangues: como a vegetação dos mangues é abundante e a água do mar contém sempre sulfatos, o enxofre se encontra nestes solos sob forma de sulfuros escuros. A drenagem dos mangues provoca a eliminação do sódio e a oxidação dos sulfuros que, por falta de cations, geram o ácido sulfúrico / $\text{SO}_4 \text{H}_2$; o pH pode descer a 2 ou 3. Daí graves toxidades devido ao ferro e ao

alumínio, para o arroz em particular (Ceilão, Sierra, Leone, delta/da Casamance no Senegal).

9.3 - OS PRINCIPAIS TIPOS DE SOLOS SALGADOS

Atualmente ao contrário dos americanos (7ª e 8ª a - aproximação) todos os pedólogos distinguem solos salinos: porque a vegetação é completamente diferente da dos outros solos; porque o complexo absorvente tem propriedades particulares (carga em Na, dispersão da argila) e porque as plantas cultivadas aguentam difícilmente fortes teores em cloro e em sódio.

9.31 - Os solos salgados (os solontchaks da classificação russa; a palavra solontchak é também utilizada pelos franceses).

São solos com cloretos, mas Cl Na se encontra livre no solo e o sódio é muito pouco abundante no complexo absorvente; os cloretos podem ser misturados com carbonatos e sulfatos:

pH $\leq$ 8,5

$\frac{Na}{T} < 15\%$ (Na trocável do complexo absorvente)

Condutibilidade elétrica > 4 millimhos

(a condutibilidade elétrica é medida oficialmente/ sobre um solo contendo apenas a quantidade suficiente de água para o tornar líquido, pasta saturada).

A notar que os efeitos do sódio sobre a estrutura/ começam a se manifestar quando Na/T alcança 7 a 8%.

9.32 - Os solos salgados a alcalis

O cloreto de sódio (ou o carbonato de Na) se encontra em estado livre (sal solúvel) no solo, mas o sódio satura uma / boa parte do complexo absorvente (em todos os casos mais de 15% de T):

pH $> 8,5$

$\frac{Na}{T} > 15\%$

condutibilidade elétrica > 4 millimhos.

9.33 - Os solos a alcalis: solonetz da classificação russa , palavra também usada pelos pedólogos franceses.

O sódio se encontra principalmente no complexo absorvente do solo; em geral há relativamente poucos sais livres e quando eles existem, são em geral carbonatos e sulfatos de Na.

pH entre 8,5 e 10

$\frac{Na}{T} > 15\%$

Os colóides são sempre fortemente dispersados. O horizonte B toma o aspecto característico em pequenas colunas prismáticas ("structure en colonnettes" em frances, "columnar structure" em inglês).

Às vezes o horizonte A é lessiviado e perde seu sódio; forma-se um A_2 embranquecido (A_1 e A_2 podem mesmo ser ácidos/ e não sódicos) enquanto que B guarda muito sódio e conserva sua estrutura em colunas.

São os solonetz solodizados (solods nos casos extremos com A_2 muito embranquecido).

9.4.2 O SÓDIO NOS SOLOS E AS PLANTAS CULTIVADAS

9.4.1 - As deficiências em sódio dos solos

Estas deficiências são extremamente raras: de um lado o solo contém sempre um pouco de sódio sobre seu complexo absorvente e, por outro lado, as plantas têm pouca necessidade em Na.

A beterraba seria uma das plantas mais exigentes em sódio, mas o que já existe no solo e o sódio trazido com impureza/ nos fertilizantes potássicos são bastante suficientes para ela.

É possível que no futuro, com a intensificação da agricultura e o uso generalizado de fertilizantes de síntese (portanto muito puros), constata-se deficiência em Na em certos solos; mas isto ainda não vem ao caso.

9.4.2 - Intoxicação do cafeeiro pelo sódio em solo não salino

Observa-se na República Centro-africana, na zona dos solos ferralíticos, que o cafeeiro *Canephora*, variedade Robusta, não aguenta ter suas raízes na água durante uma parte do ano; a planta murcha e morre depois de ter ingerido fortes quantidades/ de Na.

É provável que a hidromorfia torna os tecidos das raízes extremamente permeáveis ao sódio, portanto pouco abundante, daí uma intoxicação.

9.43 - Excesso de sódio nos solos

É o caso mais geral

O sódio age nos solos pelos processos seguintes:

9.431 - Uma ação sobre a estrutura

Desde que Na representa mais de 7 a 8% da capacidade de troca, a estrutura se degrada por dispersão dos colóides; quando Na atinge 12 a 15% este fenômeno é muito nítido; o solo se torna / pouco permeável, compacto em período de secura e se transforma em lama saponácea quando chove. Estas condições físicas do solo convêm muito pouco à maioria das plantas.

9.432 - Uma toxicidade específica dos anions dos sais solúveis

O anion cloro é de longe o mais tóxico, mais tóxico / que o anion SO_4^{2-} e sobretudo CO_2 que não tem praticamente toxida de.

Com efeito, Cl^- , ion muito móvel, entra facilmente / nos tecidos das plantas e aí permanece no estado iônico: sua presen ça tem por efeito diminuir a penetração dos cations, K em particu - lar; notou-se que, se no interior dos tecidos $\text{Cl}/\text{K} > 1$, a planta so - fre de uma grave carência em potássio (BUCHNER).

O ion SO_4^{2-} tem teoricamente o mesmo poder que Cl^- , mas sendo menos móvel, ele entra menos facilmente nos tecidos das / raízes; dentro da planta ele é, pelo menos parcialmente, decompos - to e o enxofre é incorporado às substâncias vegetais, donde uma ação menos importante.

Para que SO_4^{2-} seja tão nocivo quanto Cl^- é preciso que ele esteja em proporção muito maior que Cl^- .

9.433 - Uma elevação da pressão osmótica da solução do solo

Se os sais solúveis se dissolvem, eles dão à solu - ção do solo uma pressão osmótica elevada, proporcional à concentra ção em sais:

Pressão osmótica em atmosferas = $L \times 0,35$

(L sendo a condutibilidade em milimhos)

Esta pressão osmótica elevada, quase que inteiramen te devida ao sódio, favorece a entrada do cation Na nas raízes das plantas; daí desequilíbrios alimentares com os outros cations (K, Ca, ...).

No caso dos solos alcalis, o sódio trocável se / coloca em equilíbrio com a solução do solo; como esta contém / quase que exclusivamente Na, sua pressão osmótica parcial é muito /

elevada em relação com a dos outros cations, ou que provoca desequilíbrios semelhantes aos do caso precedente.

9.434 - Um pH alto denais

Poucas plantas aguentam pH superiores a 8. Desde / que os solos contenham uma forte proporção de Na no complexo absorvente os pH se escalam de 8,5 a 10.

9.44 - Métodos de análise dos solos salgados

Este método é sobretudo utilizado para solos contendo sais livres, cloretos sobretudo, mas também sulfatos e carbonatos. 9.441 - Pasta saturada

A técnica mais utilizada é a da pasta saturada; o / solo é saturado de água até alcançar o limite de liquidez; a superfície deve estar brilhante, mas não se deve ver a água em excesso / se acumular nas cavidades.

A unidade do solo é medida sobre uma fração separada.

A solução do solo é extraída sob vácuo; analisa-se / aí os anions SO_4^{--} , CO_3^{--} , CO_3H^- e sobretudo Cl^- assim como / os cations Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} .

Mede-se a condutibilidade com a ajuda de uma ponte / de Wheatstone e de uma célula de medida compreendendo electrodos / de 1 cm^2 afastadas de 1 cm .

A condutibilidade de L a 25° é expressa em millimhos seja $1/\text{ohms/cm}$

$$\text{o millimhos /cm} = \frac{1}{1000 \text{ ohms/cm}}$$

$$\text{o micromhos/cm} = \frac{1}{10^6 \text{ ohms/cm}}$$

9.442 - Extração - Um meio

Por motivos práticos, pode-se substituir o extrato / saturado pelo extrato $1/2$.

Mistura-se 100 g de solo com 200 ml de água, agita-se a mistura, centrifuga-se; a condutibilidade é medida e os anions e cations do extrato são analisados:

$$L \text{ extrato saturado} = L \text{ extrato } 1/2 \times \frac{200}{\% \text{ de água no solo para a saturação.}}$$

A dissolução do gipso é melhor que no extrato saturado (se existe gipso SO_4Ca , $2\text{H}_2\text{O}$, evidentemente) mas a hidrólise

se do sódio do complexo de troca ainda é fraca.

9.43 - Extração um quinto, um décimo

Além da extração um meio, pôde-se realizar extrações $1/5$ e $1/10$ (respectivamente 500 e 1000 ml para 100 g de solo).

A dissolução dos sais pouco solúveis com a gipsa, é completa, mas há uma forte hidrólise do Na trocável.

O pH do extraído $1/10$ é muito mais alcalino que o / pH da pasta saturada, estando a diferença de pH em relação com a quantidade de Na trocável.

9.45 - Escala de salinidade

Escala de salinidade de DURAND para a África do Norte.

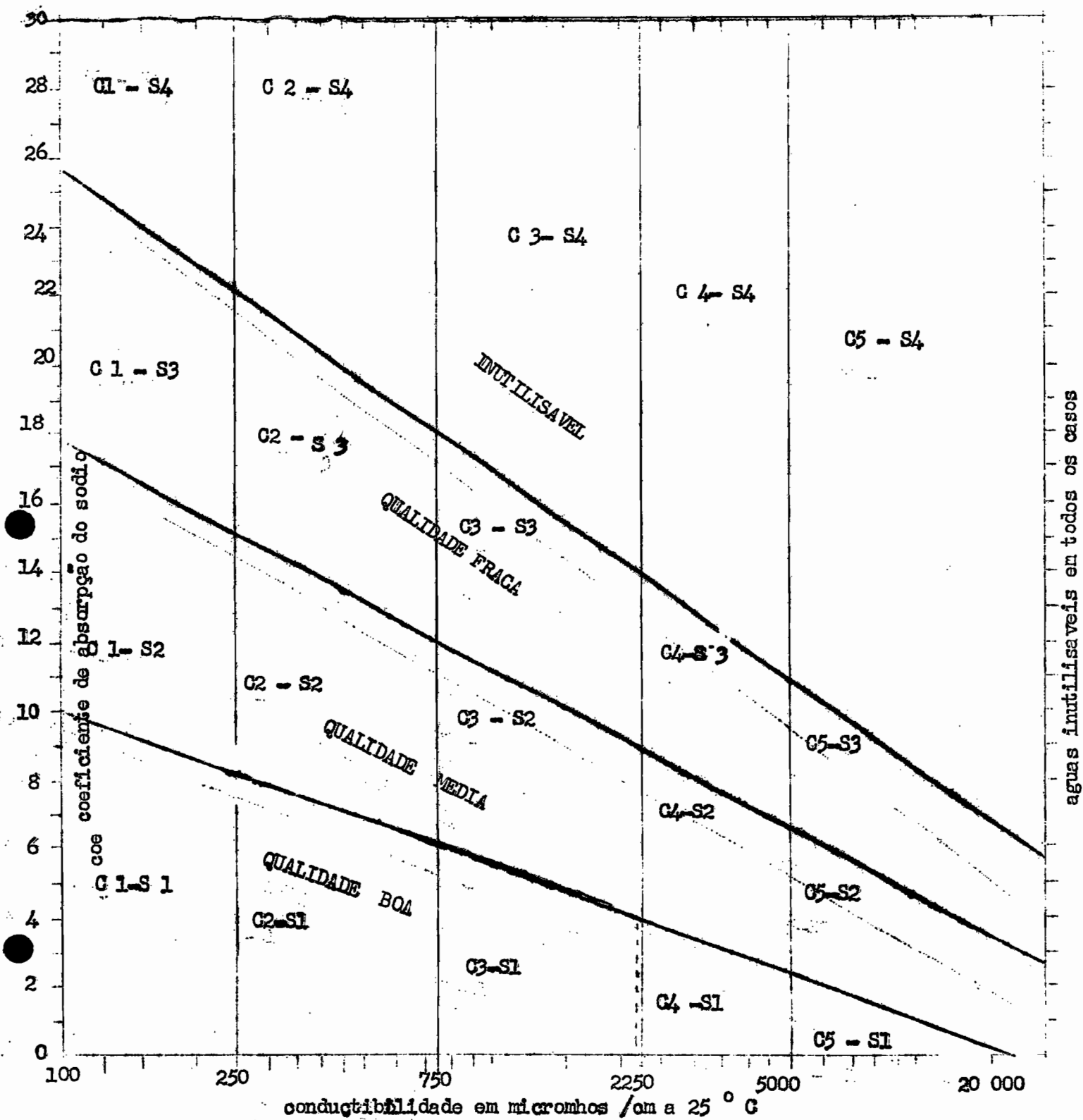
m.e. para 100 g de solução	0	2,5	5	10	20
condutibilidade em micromhos/cm					
L a 25° - extrato $1/10$		250	500	1000	2000
L a 25° - extrato $1/5$		500	1000	2000	4000
L a 25° - extrato saturado		1750	3500	7000	14000
condutibilidade em millinhos/cm					
Correspondência da escala americana dita RIVERSIDE					
0	2	4	8	16	
solo não salgado	solo pouco salgado	solo salgado, efeitos sobre muitas plantas. Algodão, cereais, lú zernas, etc resistem	solo fortemente salgado. Algumas plantas somente resistem. Cevada, aspargos.	solo muito fortemente salgado. Flora particular dos terrenos / salgados. Nenhuma cultura possível.	

Livro a consultar:

RICHARDS L.A. 1954 - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils USDA / Agric. Handbook 60, 160 p.

9.46 - A desalinização dos terrenos salgados

Estas técnicas são utilizáveis apenas quando se dispõe de muita água, porque o clima é chuvoso, ou porque há água doce em abundância.



aguas inutilisaveis em todos os casos

DIAGRAMA PERMITINDO DETERMINAR A QUALIDADE DAS AGUAS EM FUNÇÃO DA CONDUCTIBILIDADE E DO COEFICIENTE DA ABSORÇÃO DO SÓDIO (S.A.R.)

C é o grau de conductibilidade
S é a absorção de Na

- em clima chuvoso (caso dos terrenos salgados de / Holanda).

A primeira tarefa é a melhoria da estrutura do solo para restaurar a permeabilidade; em seguida as águas de drenagem / eliminam Na (na condição que a drenagem seja possível). Derrama-se sobre o solo, gipsa ($\text{SO}_4 \text{Ca}, 2\text{H}_2\text{O}$) ou gesso ($\text{SO}_4 \text{Ca}, 1/2 \text{H}_2\text{O}$). O cálcio expulsa o sódio do complexo absorvente e faz flocular a argila; o sódio livre se combina com SO_4^- , sal muito solúvel que é facilmente eliminado pelas águas de percolação desde que uma estrutura conveniente seja restabelecida.

Pode-se também utilizar ácido sulfúrico diluído se o solo contém calcário.

São métodos muito caros, mas que foram utilizados / em grande escala na Holanda, depois dos marremotos e das ruturas / de aterres feitos no fim da segunda guerra mundial, ou ainda durante o enxugamento dos novos polders.

Em clima mais ou menos árido:

O primeiro trabalho é instalar uma rede de drenagem para permitir às águas do lençol freático, sempre muito carregadas em sais solúveis, escoar. Senão, no momento da seca, a evaporação / a partir do lençol freático é tão grande que há subida das soluções salinas até a superfície, com aparecimento de eflorescências / brancas e pretas (se o solo é húmifero). O húmus é dispersado.

Em seguida, se rega fortemente para eliminar o sal por drenagem... e também fazer crescer as plantas.

É o procedimento usado nos oásis dos desertos: ele é muito eficaz na condição que a drenagem funciona bem e que os aportes de água sejam nitidamente superiores à evaporação do solo e das plantas.

Se estes requisitos são preenchidos pode-se mesmo / utilizar águas um pouco salgadas: mas neste caso o excesso de água que vai embora por drenagem deve eliminar ao mesmo tempo os sais / do solo e os sais que elas trazem: é portanto necessário regar muito e o método é assegurado de êxito somente se a drenagem é excelente.

9.17 - O problema das águas de irrigação

A irrigação é sobretudo utilizada em grande escala nos países áridos e semi-áridos (países de clima mediterrâneo inclusive). Ora, frequentemente nestes países as águas (lençóis freáticos, rios) contêm um pouco de Na; utilizadas para a irrigação ,

estas águas depositam seu sódio no solo e com a ajuda da evaporação pode-se formar concentrações nocivas de sais.

Os autores americanos (Laboratório de Riverside) utilizam 2 tipos de medidas:

$$- S.A.R. = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^2 + Mg^2}{2}}}$$

Na, Ca e Mg estando os cations /
contidos na água

O S.A.R. indica em que medida o sódio vai se fixar preferencialmente sobre o solo.

- a condutibilidade da água por cm² (em micromhos). Eles distinguem 6 níveis (ver figura anexa):

100 , 250, 750, 2250, 5000, 20000 micromhos/cm

As águas com condutibilidade superior a 2250 micromhos /cm não são mais utilizáveis segundo as normas americanas.

- os autores franceses, além do S.A.R. e da condutibilidade utilizam na maioria dos casos, para julgar o valor das águas de irrigação:

- a relação Na/Ca: quando esta relação é superior a 1, há um grave perigo de alcalinização das terras.

Esta relação Na/Ca substitue frequentemente o S.A.R.: ele dá resultados excelentes com as águas pouco carregadas em Mg (porque às vezes Mg pode desempenhar o mesmo papel que Na e não se leva isto em consideração aqui).

- a carga das águas em sais solúveis (extraídos secos): este valor é utilizável numa região determinada, da qual se conheça bem as proporções / relativas dos sais contidos nas águas. Assim no sul da Tunísia, águas com extractos secos de 10 a 12 g são no limite de utilização (10 a 12 representam uma carga considerável em sais).

- águas de 4000 a 7000 micromhos (4 a 7 millimhos/cm) podem ser utilizadas na condição que o solo seja arenoso e muito permeável e que não há lençol freático perto das raízes das plantas; é portanto necessário ter um drenagem excelente em grande profundidade.

CAPÍTULO X

Os oligo-elementos do solo e as carências em oligo-elementos para as plantas

Os oligo-elementos, ou elementos-traços ("traces-elements" em inglês) são corpos que se encontram geralmente em pequena quantidade nos solos; as plantas os absorvem somente em doses / muito reduzidas mas, apesar disto, êles são particularmente indispensáveis para elas: as carencias em oligo-elementos são responsáveis por doenças muito graves provocando safras nulas ou muito fracas e bastante frequentemente a morte da planta.

Inversamente, se a planta absorve demais oligo-elementos, aparecem toxidades graves que têm os mesmos efeitos negativos que as carências.

Em meio artificial, constatou-se que o intervalo / era muito pequeno entre carência e toxidade (isto quer dizer nível de carência e nível de toxidade).

No solo, meio sempre mais ou menos tamponado, êste / intervalo parece muito maior.

10 - 1 - BORO

10.11 - Principais carências

Sob dendê (Costa do Marfim)

As carencias em boro se produzem desde que o solo / contenha menos de 0,2 a 0,1 ppm de boro.

Na Costa do Marfim, os solos onde se produzem estas carências, são solos ferralíticos arenosos dessaturados e ácidos.

0-30 cm: argila 12%, silte 8%, areia fina 24%, areia grossa 56%.

S = 1,05 m.e./100 g pH 5,0 . . .

Ca = 0,58, Mg = 0,36, K = 0,04 m.e./100g (elementos / trocáveis).

Sob algodoeiro:

Observou-se carências em boro na Costa do Marfim / (solos ferralíticos medianamente dessaturados ou pouco dessaturados) no Tchad, ao norte do Cameroun e no Daomey (solo "bruns" eutrofos, vertisolos, solos ferruginosos tropicais).

Não se conhece os teores críticos do boro no solo / para o algodoeiro.

Sob bananeira

em solos ferralíticos e solos hidromorfos

Sob eucaliptus

Em Alta Volta (solos ferruginosos tropicais) constatou-se também carências em boro.

Nos solos temperados, as carências em boro são mais frequentes : beterraba, árvores frutíferas, etc...).

10.12 - Toxicidade do boro

Os casos de toxicidade do boro são muito raros e se produzem quase que exclusivamente na vizinhança das usinas que tratam este elemento.

10.13 - Correção das carências

As carências em boro são fáceis de corrigir por aplicações de borato agrícola ao solo, 50 g por árvore sob dendê (7 a 8 Kg/Ha), 10 a 30 g por árvore sob eucaliptus.

10.14 - Influência do tratamento a cal sobre as carências em boro

Pensa-se que as carências em boro da bananeira são provocadas / por um tratamento a cal excessivo: com efeito o brutal aumento do pH, depois de um aporte maciço de cal, provoca uma insolubilização do boro do solo.

10.15 - Interação do boro e de outros elementos minerais

Uma carência em boro foi provocada sob dendê no Cameroun por uma adubação potássica.

Pensa-se ^ . . . há uma verdadeira interação Boro-Potássio que poderia se expressar por uma relação Boro/K no solo. Mas não se conhece ainda seus limites.

10.2 - MOLIBDENO

Observou-se nos solos das bananeiras de Costa do Marfim (solos / ferralíticos medianamente dessaturados ou fortemente dessaturados e solos hidromorfos turfosos) teores de molibdeno de 0,01 a 0,06 ppm (Mo extratível com acetato de amoníaco), aos quais a bananeira parece se adaptar muito bem.

10.21 - Principal carência

O molibdeno sendo um elemento essencial ao Rhizobium das leguminosas, a principal carência constatada diz respeito aos solos ferruginosos tropicais muito arenosos do norte do Senegal.

O valor do teor limite do Mo nestes solos não é conhecido.

Outra carência: sob soja nos solos ácidos do centro dos Estados Unidos.

10.22 - Toxicidade

Os casos de toxicidades provocadas pelo molibdeno parecem muito / excepcionais.

10.23 - Correção das carências

No norte do Senegal, mistura-se atualmente o molibdeno com os produtos anticriptogâmicos destinados a desinfecção das sementes. Nos U.S.A. , acrescentou-se molibdeno ao solo para corrigir as carências em Mo que aparecem sob soja.

10.24 - Influência do tratamento a cal sobre a assimilabilidade do molibdeno no solo

A reação do molibdeno é inversa da de muitos oligo-elementos : quanto mais aumenta o pH do solo, mais a assimilabilidade do Mo pelas plantas ou os rizóbiums cresce.

Esta assimilabilidade está portanto, em relação estreita com o teor de cálcio do solo (que condiciona o pH) e pode-se falar de uma interação positiva entre molibdeno e cálcio.

Com efeito, os americanos mostraram que era possível corrigir as carências em Mo da soja acrescentando o molibdeno ao solo, seja relevando o pH por aportes de cálcio.

Entretanto não basta que o pH seja de 6 e mais para que haja sempre suficientemente Mo no solo: é o caso do norte do Senegal onde os solos são pouco ácidos, mas onde as quantidades de Mo do solo são insuficientes para o rizóbium; este vive, forma nodosidades, mas não fixa o azoto.

10.3 - COBRE E ZINCO

Nos solos ferralíticos e nos solos hidromorfos turfosos da Costa do Marfim onde se localizam os bananais, observou-se os seguintes teores (segundo DABIN e LENEUF):

Cobre: teores os mais frequentes 0,2 a 1,5 ppm

teores extremos: 0,01 e 0,11 ppm

Zinco: teores os mais frequentes: 0,4 a 4 ppm

teores extremos: 0,2 e 13 ppm

Considera-se que os teores mais altos correspondem a um enriquecimento do solo pelas impurezas contidas nos fertilizantes (Fosfatos tricalcicos em particular), trazidos em grandes quantidades nestes solos.

10.31 - Carência

As carências em cobre e em zinco são raras nos solos tropicais . Entretanto, carências foram observadas sob bananais, depois um tratamento a cal que provocou uma brutal subida do pH.

Na zona mediterrânea, carências em zinco existem sob laranjeiras.

10.32 - Toxicidade

Os casos de toxicidade existem somente para o cobre na vizinhança das usinas que tratam este metal.

Em certos casos, os solos formados sobre jazidas de cobre podem conter doses tóxicas de cobre para certas plantas, mas é um caso relativamente raro (Katanga, Zâmbia, talvez Chile).

10.33 - Correção das carências

Em geral, as pulverizações sobre as folhas (bananeiras, laranjeiras) são mais eficazes do que as aplicações no solo.

10.34 - Influência dos corretores cálcicos sobre as carências

Uma elevação brutal do pH por corretores cálcicos provoca uma bloqueio do cobre e do zinco.

Assim, na Guiné, teores em zinco de 8 a 10 ppm são insuficientes para as bananeiras depois de uma rápida elevação do pH acima de 6,5. Ora, estes teores são muito excepcionais na Costa do Marfim onde as bananeiras se contentam de 0,4 ppm sem carência visível, mas para pH incluídos entre 5,5 e 6,3 (e mesmo 6,5, mas depois de uma elevação do pH que se prolongou durante vários anos).

10.35 - Interação cobre - matéria orgânica

Quando a matéria orgânica se encontra em grande quantidade nos solos (solos de turfa), é possível que ela consiga insolubilizar o cobre, provavelmente por formação de complexo. É provável que seja o caso para algumas bananeiras da Costa do Marfim.

Na Escócia (clima temperado muito fresco), as plantações florestais feitas sobre solos de turfa sofrem bastante frequentemente de carências em cobre.

10.4 - MANGANÊS

O manganês é provavelmente o oligo-elemento que deu as maiores preocupações aos pesquisadores, menos pelas carências que se pôde constatar, do que por causa de sua toxicidade nos baixos pH.

O problema da análise do manganês no solo ainda é confuso, por causa da multiplicidade dos métodos utilizados (extração com a água carbonatada, com o acetato de amônia em diferentes pH, etc...). Além disto, os agrônomos têm tendência a analisar o manganês contido nos tecidos vegetais, sem se preocupar com o do solo (somente análise folhar); isto não simplifica a tarefa dos pedólogos que devem prever o que vai acontecer para as plantas em função do que se encontra no solo.

Um ponto parece agora já estar certo:

A dinâmica do manganês está estreitamente ligada ao pH do solo : qualquer abaixamento do pH do solo provoca uma redução do manganês tetravalente (MnO_2), normalmente insolúvel, em manganês divalente (MnO) nitidamente mais solúvel.

É assim que nos solos ferralíticos dessaturados argilosos (70% de argila em s uperfície) do Vale do Niari, no Congo-Brazzaville, foi encontrada a seguinte relação entre pH do solo e a quantidade de manganês, extraído com o acetato de amônio tamponado ao pH do solo (FRANQUIN) :

pH do solo	Mn extraído
5,3	6,3 ppm
4,7	32 ppm
4,3	106 ppm
4,2	143 ppm

Nos solos ferralíticos fracamente dessaturados da República Centro-Africana (aparentemente menos ricos em manganês que os do Vale do Niari) foi constatado que a acidificação provocada pelos fertilizantes azotados favorece a absorção do manganês pelo cafeeiro (*Coffea canephora*, var. Robusta).

10.41 - Careências

As careências em manganês parecem raras.

Uma delas foi constatada sob coqueiro crescendo em solos formados sobre os calcários coralíferos das ilhas do Pacífico e uma outra sob arroz/nos arrozais inundados do Japão.

Dois outras foram observadas: sob sisal da República Centro-Africana e sob amendoim no Senegal, mas é possível que elas estejam ligadas a outros elementos além do manganês (enxofre para o amendoim).

10.42 - Toxicidade

Os casos de toxicidade devida ao manganês, são por sua vez, relativamente frequentes (Congo-Brazzaville, Tchad, Costa do Marfim, Uganda, Tanzania, etc....)

Em geral, estas toxicidades estão associadas à pH baixos:

No Congo-Brazzaville:

Aqui estão alguns casos de toxicidade; as cifras de pH e os teores em Mn são os limites abaixo dos quais se manifestam toxicidades graves:

amendoim: pH 4,4 a 4,6 Mn em torno de 80-100 ppm

algodoeiro: pH 5,0 a 5,2 Mn em torno de 10-13 ppm

(aqui Mn é extraído com a acetato de NH_4 tamponado ao /
pH do solo)

algodoeiro: pH 5,0 a 5,1 Mn em torno de 10 ppm

(aqui Mn é extraído com a água carbonatada)

Em Uganda:

Sobre vertisolos, de pH 6,2 a 6,5, foram encontrados teores em Mn de 200 a 400 ppm, teores tóxicos para o milho, as favas e as bananeiras; por outro lado, a árvore do chá, a cana de açúcar, a soja e a batata doce são insensíveis (CHENERY). A notar que o método de extração não é indicado pelo autor.

Na Costa do Marfim:

Foram encontrados teores de 3 a 1788 ppm de Mn (manganes extraído com o acetato de amoníaco normal, com o pH 7) em plantações de bananas. Até agora não foi constatada nenhuma toxicidade manganês: é verdade que estes solos são sempre mantidos a pH iguais ou superiores a 5,5 (geralmente vizinhos de 6)

10.43 - Correções das toxicidades e influência dos corretores calcáreos

Por causa da estreita relação que existe entre toxicidade manganês e baixos pH do solo, conseguiu-se corrigir as toxicidades colocando-se fertilizantes calcáreos (ou calco-magnesianos). Mas é necessário colocar muito destes corretores para ultrapassar largamente o pH crítico, o que provoca um problema de custo.

Às vezes, um melhoramento da estrutura pode ajudar: certos vertisolos do Tchad têm uma estrutura muito ruim: a água da chuva se infiltra muito mal, estagna no solo, gerando condições reductoras, portanto pH baixos. Um melhoramento de estrutura (por cálcio e matérias orgânicas por exemplo, ou ainda por um produto de síntese como o Krillium) provoca uma melhor drenagem, um meio melhor ventilado, portanto oxidante e finalmente, uma elevação do pH e o desaparecimento das toxicidades.

10.44 - Interações do manganês e de outros elementos minerais do solo

Uma absorção exagerada de manganês perturba o metabolismo da planta.

Em cultura sem solo (cultura sobre solução hidropônica):

um excesso de manganês provoca uma absorção importante de fósforo, de azoto e de magnésio e um deficit em potássio, isto para o amendoim // (LEVEQUE e BELEY).

Nos solos:

um excesso de Mn provoca carências em cobre e enxofre e uma absorção exagerada de potássio e de cálcio, para o cafeeiro-africano.

Para esta planta, um excesso de Mn pode também gerar um desequilíbrio da relação Mn/Fe nos tecidos folhares (por deficit de absorção do ferro), provocando uma verdadeira clorose fêrrica (a planta fabrica dificilmente a clorofila que ela necessita porque / ela não tem mais suficientemente ferro (FORESTIER e BEFFY).

Para o arroz, uma carência do solo em manganês gera / uma absorção tão elevada do ferro pela planta que o ferro se torna / tóxico (YAMASAKI no Japão).

Trata-se portanto aqui de um verdadeiro antagonismo / Mn-Fe.

Por outro lado, segundo alguns trabalhos recentes, a toxicidade do Mn para o amendoim seria provocada essencialmente por / uma diminuição excessiva dos teores em cálcio do solo; o aumento / dos valores da relação Mn/Ca no solo provocaria uma absorção elevada demais de Mn e um grave deficit em Ca dentro do vegetal (MARTIN G.).

Trata-se portanto de um antagonismo Mn-Ca.

As toxicidades devidas ao manganês e ao alumínio se associam frequentemente nos solos ácidos: não se sabe bem se se trata de uma interação positiva Al-Mn ou de uma simples coexistência / destes 2 ions, igualmente tóxicos.

As matérias orgânicas, sobretudo quando bem decompostas (estrume), parecem ter o poder de corrigir as toxicidades manganêicas, quando fornecidas ao solo em grandes quantidades. As experiências não foram continuadas durante bastante tempo para saber se existe uma interação negativa manganês-matérias orgânicas (Congo / Brazzaville, solos ferralíticos argilosos dessaturados ácidos do Vale do Niari.

CAPÍTULO XI

A alumina, o ferro e o silício dos solos e suas relações com as plantas cultivadas

Êstes três elementos, alumínio, ferro e silício, não são propriamente dito oligo-elementos; com efeito êles se encontram em quantidades elevadas nos solos e mais especialmente nos solos tropicais (pelo menos o ferro e o alumínio, porque o silício existe sempre em quantidade elevada, qualquer que seja o solo).

Apesar desta omnipresença, a planta absorve relativamente pouco destes elementos; entretanto, o ferro tem uma importância considerável na fisiologia vegetal porque êle é um dos cons

tituintes essenciais da clorofila; quanto ao silício, que existe / em grande quantidade nos vegetais (50% de silício nas cinzas da / floresta equatorial do Congo-Kinshasa), conhece-se seu papel plástico para os tecidos vegetais, cereais em particular, mas até agora nenhum papel seu realmente ativo no metabolismo vegetal.

Na realidade, com exceção do caso do ferro da clorofila, conhece-se muito mal a importância destes três elementos para o vegetal em geral e as plantas cultivadas em particular.

10 -1. ALUMÍNIO

Como para o fósforo até uma data relativamente recente e o enxofre até agora, os estudos sobre o ion alumínio nos solos são prejudicados pela ausência de método analítico correto, bem adaptado aos solos tropicais e às dosagens em série.

A este respeito, existe uma grande confusão: não se sabe exatamente o que representa o alumínio chamado "livre" extraído dos solos tropicais pelos diferentes e muito numerosos métodos/químicos utilizados.

11.11 - Presença do ion alumínio nos solos tropicais

O ion Al^{+++} se encontra em grande quantidade nos solos:

- fixado sobre o complexo absorvente a baixos pH
- sob forma de gibsita $Al(OH)_3$, muito pouco móvel
- sob forma de boehmita
- nas redes das argilas, sob forma de silicatos de alumina
- sob forma de alumina livre (?), forma misteriosa, não definida e que talvez não exista sob este aspecto.

Nos climas tropicais úmidos e equatoriais, existe / um "desmoronamento" das redes argilosas (SEGALEN) que atinge mesmo / a caolinita, sobretudo quando a rocha-mãe é pobre em quartzo; pode pois, ter uma liberação considerável de alumina nos solos, que fica no local, formando gibsita.

Mas não está excluído (e isto parece mesmo comprovado) que em presença de silício solúvel, este alumínio possa gerar caolinita (neo síntese), pelo menos em determinadas condições.

11.12 - Toxidade do ion alumínio para as plantas

Sob arroz:

A toxidade do ion Al foi posta em evidência pela /

primeira vez em 1950 por CASTAGNOL que constatou toxidades importantes de Al em arrozais inundados do Vietnam, para pH inferiores/ a 5,15.

É a mesma coisa em Sierra Leone, em arrozais instalados sobre solos de mangue, com pH inferiores a 5 (trata-se aqui/ de uma toxidade provocada por Al, Fe e Mn juntos, segundo T. MLIN - SCN).

Sob cana de açúcar

A cana de açúcar em Uganda aguenta dificilmente as seguintes doses de Al^{+++} no solo, que prejudicam muito seu crescimento:

460 ppm a pH 4,5

180 ppm a pH 3,9

265 ppm a pH 3,6

Aqui, a toxidade aluminica é associada à uma toxida do manganica.

Sob árvore de chá:

A árvore do chá em Uganda é completamente ~~indiferente~~ a estes teores em Al do solo e cresce muito bem. Com efeito, é uma/ planta que gosta dos baixos pH.

Sob bananeira:

A Madagascar, uma suposta carência em fósforo da bananeira sobre solos hidromorfos a turfa, era na realidade uma/ toxidade provocada por Al: o aporte de fosfato tricálcico ao solo corrige em grande parte porque $(PO_4)_3 Ca_2$ libera Ca quando se decompõe e substitue Al sobre o complexo absorvente (o fosfato tricálcico, sal neutro, só pode relevar o pH por este meio; ele o faz / lenta e fracamente, mas o ion Al é eliminado em grande parte, o que é uma coisa importante).

Sob amendoim:

Pensa-se que as toxidades manganicas do amendoim/ no Vale do Niari (Congo Brazzaville), estão na maioria das vezes / associadas à toxidades aluminicas.

11.13 - Interação do alumínio com outros elementos minerais

Interação Alumina-ferro-manganês:

As toxidades aluminicas se associam à toxidades / provocadas pelo ferro e o manganês.

Não se sabe se se trata de uma verdadeira interação positiva ou da coexistência de 2 ou 3 destes ions também tóxicos a baixo pH (pH 5).

Interações negativas, alumínio-fósforo

Em cultura sem solo (cultura sobre solução hidropônica).

Uma experiência feita sob cultura de amendoim em solução hidropônica mostra que o ion alumínio (trazido por sulfato / de alumínio) é tóxico em doses elevadas; mas se esta planta é convenientemente abastecida em elementos minerais e sobretudo em fósforo, o amendoim não somente aguenta muito bem estes teores em Al, que precedentemente eram tóxicos, mas estes favorecem seu crescimento (SAG).

Nos solos:

Foi constatado que, nos solos do Arkansas (USA), se o pH é baixo, a presença de Al e de Fe diminuem a assimilabilidade / do fósforo.

É provável que no aporte de fosfatos tricálcicos / feito sob bananeiras em Madagascar, a presença de fósforo deve ter ajudado a combater a toxidade devido a Al.

Estamos assim conduzidos a pensar que existe um verdadeiro antagonismo Al/P que até agora foi muito mal definido.

11. 2 - FERRO

Apesar da importância quantitativa deste elemento / nos solos tropicais, o papel das diferentes formas do ferro na alimentação das plantas foi raramente estudado em detalhes nestes solos.

O ferro pode se encontrar nos solos tropicais:

- sobre o complexo absorvente
- sob forma oxidada (Fe trivalente): Fe_2O_3 e Fe_2O_4
- sob forma reduzida: ferro divalente FeO (forma móvel).
- sob forma de hidróxidos $Fe(OH)_2$ e $Fe(OH)_3$

11.21 - Carências em ferro

Elas foram sobretudo assinaladas nos solos calcáreos dos países temperados e mediterrâneos sob forma de clorose férrea devido ao calcáreo: o solo contém suficientemente ferro para / satisfazer as necessidades da planta, mas este é imobilizado sob / forma de carbonato de ferro inassimilável. As cloroses provocadas

pelo calcáreo atingem sobretudo a vinha, as árvores frutíferas e mesmo o arroz (na Califórnia).

No que diz respeito aos solos tropicais, assinalou-se uma carencia em ferro (aliás associada a uma carência em Mn) / sob coqueiro nas ilhas do Pacífico.

11.22 - Toxidades do ferro

Sob arroz (arrozais inundados):

a Ceilão, atribui-se ao ferro divalente, solubilizado a pH incluídos entre 4,3 e 4,9, a doença "bronzeada" do arroz (PONNAMPERUMA).

No sul do Senegal, a drenagem dos mangues provoca / importantes diminuições de pH e em consequencia, toxidades devidas ao ferro e à alumina: nestas condições o tratamento com o cal dá excelentes resultados sobre o arroz.

Mesmo com pH nitidamente mais elevados (pH=6-7 por exemplo), quando as condições redutoras predominam no solo dos arrozais (solos fortemente argilosos), o ferro reduzido, pouco móvel nestes pH, pode obstruir os tecidos vacuolares das raízes do arroz, determinando uma espécie de anemia (Ceilão, Senegal, Mali).

11.23 - Ação do ferro sobre as propriedades dos solos

- a estrutura: o ferro "livre" parece ser um dos / principais fatores que condicionam a estrutura dos solos ferralíticos dessaturados, sendo o humus um outro fator importante.

Isto a um ponto tal que foi proposto, para restaurar a estrutura destes solos, quando degradada, de utilizar compostos organo-férricos como corretor (MARTIN). Infelizmente, precisa-se ainda encontrar a composição deles e comprovar sua rentabilidade.

- A insolubilização do fósforo

O ferro insolubiliza o fósforo em compostos fosfo-férricos, pouco ou não assimiláveis para as plantas (ver capítulo sobre o fósforo).

11.23 - As interações entre o ferro e os outros elementos

Interação ferro-manganês

Ver parágrafo sobre o manganês

Interação ferro-potássio

A presença do ferro na planta condiciona a utilização do potássio.

11.3 - O SILÍCIO NOS SOLOS TROPICAIS

No conjunto, conhece-se pouca coisa sobre o papel / do silício no crescimento das plantas; Entretanto, ele deve ser / considerável.

As cinzas vegetais da floresta densa ~~cong~~olense / são formadas por 50% de silício.

Nos 15 T anuais por hectares de matérias secas que / esta floresta deixa cair sobre o solo, há aproximadamente 250 Kg / de silício; portanto mais que de pot (200 Kg).

É notório que o silício tenha um papel plástico im-
portante para as gramíneas e mais particularmente, para os cereais.
Estudos de pesquisadores japoneses mostram que este papel plásti-
co não era o único e que, os aportes de silício em solução favore-
cem o crescimento e a formação da espiga do arroz, a assimilação /
do fósforo, do manganês e do ferro por esta planta, ao mesmo tempo
que aumentava sua resistência aos ataques dos cogumelos.

Este silício intervém no ciclo biológico: todos os
químicos que trabalharam sobre os horizontes superficiais dos so-
los tropicais constataram quantidades elevadas, às vezes embaraço-
sas, de silício solúvel ou sob forma de gel, nas soluções analisa-
das.

Entretanto, quando se estuda a forma do silício no
solo, encontra-se somente sob forma de quartzo (silício cristali-
no) e em combinação com o alumínio nas argilas: não parece existir
silício solúvel ou em gel, ou sob qualquer outra forma não cris-
talizada (os solos com alofanos-andosolos, fazem exceção).

É verdade que existe sempre nos solos tropicais um
"desmoronamento parcial das redes argilosas, daí uma liberação per-
manente de silício (no mesmo tempo que de alumínio).

Por outro lado, sabe-se que sob os climas tropicais
úmidos há uma corrosão intensa do quartzo da rocha-mãe (corrosão/
mais lenta e mais fraca que existe também em clima semi-árido) ,
que gera silício solúvel ou pseudo-solúvel.

Todas as observações feitas parecem confirmar que
num outro caso, este silício liberado é rapidamente levado fora /
do perfil: mas é possível que na passagem, ele tenha um papel im-
portante para as plantas.

A existência de silício em quantidades importantes
na vegetação natural leva a fazer uma pergunta: quando dos desma-
tamento, estas massas vegetais são queimadas e o silício existen-
te posto fora do circuito biológico por insolubilização: será que
esta insolubilização pode ter consequências a longo prazo? Na ver-
dade ainda não se sabe de nada.