

# I. UMA VISÃO GLOBAL DE SOLOS

Sengik, Érico

VERSÃO 2003

## 1. INTRODUÇÃO

A fome é uma constante na sobrevivência de muitos seres humanos apesar da capacidade de produção de alimentos dos solos continuar crescendo, pela aplicação de novas tecnologias ou pelo aumento da área de terra para cultivo.

O aumento de população tem sido cada vez mais extraordinário e mais de 90% do aumento populacional ocorre em nações subdesenvolvidas, não sendo surpresa que o suprimento de alimentos do mundo seja considerado como um dos mais sérios problemas da humanidade.

A capacidade de produzir alimentos numa nação é definida por inúmeras variáveis como interesses políticos, econômicos e sociais, mas, independente destes fatores, a fertilidade dos solos de uma região pode representar fartura de alimentos, melhor nível de vida do ser humano e diversidade de espécies vegetais e animais, refletindo-se na melhoria das condições de vida de sua população.

Se considerarmos que cerca de um hectare por pessoa seria suficiente para produção de alimentos, também com espaço para montanhas e florestas sem ocasionar uma superpopulação, chegaríamos a uma população total de 14 bilhões para uma área da terra de 14500 bilhões de hectares. Se considerarmos que o potencial agrícola da terra é 157 de bilhões de pessoas podemos viver confortavelmente ainda por muito tempo.

No passado, as principais civilizações estavam instaladas em regiões de solos de alta fertilidade. O vale do rio Nilo, os rios Tigre e Eufrates, na Mesopotâmia, e dos rios Indo, Yang-Tse e Huang-Ho, na Índia e na China, foram berços de grandes civilizações. Os solos das margens destes rios eram submetidos a freqüentes adições de nutrientes por meio das enchentes naturais através das quais conseguiram tornar viável as grandes comunidades organizadas.

No rio Yang-Tse está sendo construída a represa Três Gargantas, mais de 40000 hectares de terra agrícola serão destruídas, templos, cidades e milhares de anos de história ficarão inundados. Tudo em função de interesses econômicos e de um progresso questionável.

O uso inadequado dos solos através da exploração desordenada foi uma das causas da queda de muitas civilizações. O corte das florestas, a exploração de culturas em áreas inadequadas, o corte das matas ciliares, tem sido causa da perda de solo (erosão) de superfície que a natureza leva alguns milhares de anos para formar.

A História tem apresentado lições que o ser humano nem sempre aproveita. Os exemplos de exploração inadequada de solos são inúmeros; os sulcos, as voçorocas, os assoreamentos dos rios, as áreas desertificadas, as derrubadas das matas ciliares, a redução da produtividade agrícola são provas irrefutáveis do mau uso dos solos.

## 2. ALGUNS CONCEITOS DE SOLOS

O agricultor considera o solo como ambiente para o crescimento das plantas e da sua família. Para o agricultor a terra é a segurança dos recursos necessários para manutenção de todos os que nela vivem. A sensação de posse da terra tem efeitos inexplicáveis no homem que trabalha e vive do solo.

O engenheiro responsável pelas construções e manutenções das estradas considera o solo um estorvo, que quanto mais fofo e rico em material orgânico, por mais razão deve ser substituído por cascalhos para formar o leito das estradas. A dona de casa não gosta de solos ou terra, principalmente as que fazem muito barro, que sujaram a casa com poeiras. Para elas, os melhores solos são os arenosos por representarem maior limpeza dentro do lar.

## 3. UM BREVE HISTÓRICO SOBRE SOLOS

O conhecimento básico sobre solos, necessário para manejá-los adequadamente, requer uma noção do que o mesmo representa para todos os que nele ou dele dependem. Não se pode esquecer as descobertas práticas e científicas do passado adquiridas pelos agricultores e pelos cientistas, por mais elementares que sejam.

A história tem mostrado que há duas fontes básicas de conhecimentos em solos: a) a experiência prática adquirida através dos acertos e erros; b) o conhecimento técnico originado pela ciência moderna com dados científicos sobre os solos e o seu comportamento.

A experiência prática do agricultor, mediante acertos e erros, adquirida ao longo dos anos permite que o agricultor diferencie o solo pobre do solo fértil, que reconheça os solos mais produtivos e as culturas mais adequadas, assim como as principais práticas que promovem uma maior produção. O uso do esterco ao redor das plantas como uma prática benéfica para o crescimento das plantas tem referências bíblicas. Há mais de quarenta séculos os chineses utilizavam um mapa esquemático de solos para poder cobrar mais impostos dos proprietários de solos mais produtivos. Nos primórdios da civilização romana vários princípios básicos que ainda se utilizam já eram postos em prática por agricultores. Escritores gregos e romanos descrevem sistemas agrícolas como o emprego de leguminosas, o uso de cinzas e do enxofre como aditivos de solo.

A evolução e as aplicações destes princípios foram prejudicadas com as invasões bárbaras de Roma, mas mesmo assim, as práticas passadas de geração em geração, foi a base para a agricultura européia durante a Idade Média. Não sendo muito diferente, nos dias atuais, das práticas utilizadas em muitas regiões agrícolas.

A pesquisa científica, a partir do século XVII, busca obter dados para aumentar a produtividade das culturas. Como toda a ciência nova, muitas pesquisas iniciais parecem, à luz do conhecimento atual, como elementares.

Bastante curiosa foi a experimentação com salgueiro de Jan Baptista van Helmont que durante cinco anos, cultivou em vasos, um salgueiro que produziu 74,5 kg de matéria seca, como o solo não diminuiu de peso ele concluiu que a matéria seca se originou basicamente da água fornecida. Posteriormente, o pesquisador inglês John Woodward descobriu que nos vasos onde colocava água lamacenta a produção de matéria seca era maior que os com a água da chuva ou de rio, levando-o a conclusão de que a “terra boa” ou lama era o “princípio do crescimento”. Outros pesquisadores concluíram que o princípio consistia no humo do solo absorvido pelas plantas, e outros mais, admitiam que o princípio era de algum modo transferido de vegetais ou animais mortos para a nova planta. No século

XVIII, Jethro Tull observou os benefícios do cultivo; terra afogada produzia mais, concluindo erroneamente que o revolvimento do solo facilitaria a absorção de pequenas quantidades de terra boa para o crescimento vegetal.

O agrônomo francês J. B. Boussingault, mediante uma série de experimentos de campo, em 1834, apresentou provas de que o ar e a chuva são fontes básicas de carbono, hidrogênio e oxigênio para os vegetais. Suas conclusões foram em grande parte ignoradas até 1840, quando o químico alemão Julius von Liebig enunciou seus experimentos, demonstrando que a produção vegetal dependia diretamente do montante de “minerais” ou elementos inorgânicos aplicados ao solo. O prestígio de Liebig, físico-químico excepcional, serviu de instrumento para convencer a comunidade científica que as velhas teorias estavam erradas; tendo proposto que os elementos minerais do solo, dos estrumes e dos fertilizantes adicionados ao solo eram essenciais ao crescimento vegetal.

#### **4. OS TRABALHOS DE LIEBIG**

Os conceitos primordiais de Liebig ainda são considerados basicamente corretos e utilizados a ele devemos algumas teorias e princípios: a) A Teoria da Nutrição Mineral das Plantas; b) O Princípio da Lei do Mínimo que diz que “a ausência ou deficiência de um componente necessário, mesmo que presentes todos os outros, torna o solo estéril para todas as culturas em cujo crescimento tal componente é indispensável”; c) O Princípio da Restituição, segundo o qual o solo funciona como um livro de contabilidade, com duas colunas, uma de créditos, feitos através dos adubos aplicados, e outra de débitos correspondentes aos nutrientes retirados pelas culturas. Nos dias atuais, uma recomendação de adubação em função da produtividade da cultura é, nada mais nada menos, que a aplicação do Princípio da Restituição, de 1840, de Liebig.

Os trabalhos de Liebig revolucionaram as teorias agrícolas, abrindo caminho para inúmeras investigações como as de Rothamsted, na Inglaterra, que submeteram as teorias de Liebig a verificação no campo. Embora confirmassem a maioria das pesquisas, foram apontados dois erros. Liebig afirmava que o nitrogênio provinha basicamente da atmosfera ao invés do solo e havia proposto que os sais podiam ser fundidos antes de serem adicionados como fertilizantes, não considerando as conseqüências desfavoráveis a solubilização e a absorção pelas plantas.

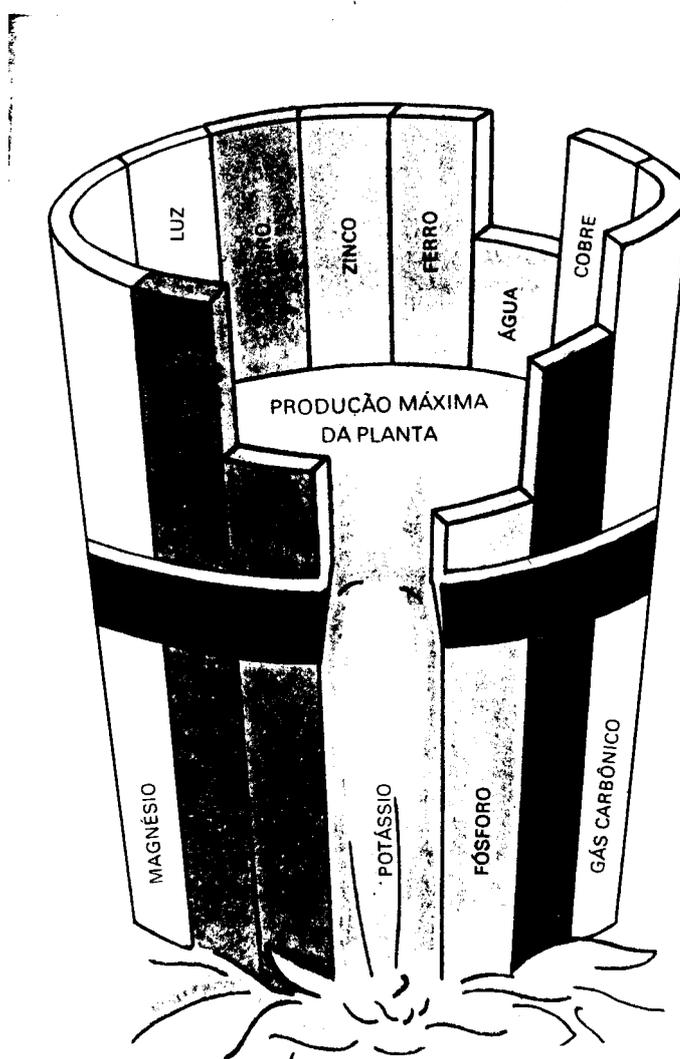
As pesquisas de campo de Rothamsted provaram que as aplicações de nitrogênio ao solo beneficiavam os vegetais, e que os nutrientes minerais deveriam estar na forma “assimilável” para ocorrer uma ótima absorção pelos vegetais. Tais investigações conduziram ao desenvolvimento da rocha fosfatada tratada por ácido sulfúrico (superfosfato simples) ou fosfórico (superfosfato triplo), que ainda são importantes adubos fosfatados.

Após Liebig ocorreram outras descobertas: J. T. Way demonstrou a capacidade de adsorção catiônica dos solos. Em 1856, descobriu que os nitratos são formados nos solos a partir da amônia; vinte anos depois, R. W. Warrington demonstrou ser este processo biológico e, em 1890, S. Winogradski isolou dois grupos de bactérias: nitrossoma e nitrobacter, responsáveis pela transformação de amônia em nitratos.

## 5. AS PESQUISAS PRÁTICAS DE SOLOS

Os conceitos de Liebig dominaram totalmente a Ciência de Solo até início do século XX. A maioria das pesquisas era feita em condições de laboratório e estufa. Pouca atenção se dava as características do solo no campo, suas diferenças em função de clima, de relevo e de rocha. Os solos eram tão somente considerados como resíduos geológicos e reserva de nutrientes para o crescimento vegetal.

As relações entre clima, vegetação, materiais rochosos com os tipos de solos foram relatados pela primeira vez por E. W. Hildgard em 1860. Na sua concepção, os solos eram considerados não só como meio ambiente para o crescimento vegetal, mas como corpos dinâmicos sujeitos a estudo e classificação no próprio terreno circunjacente. Como suas idéias eram muitas avançadas para a sua época seus conceitos tiveram que ser redescobertos para serem aceitos.



... de Liebig. O máximo da produção depende do fator de

Figura 1. Uma maneira simplificada e didática de expressar a lei do mínimo de Liebig e os principais fatores de produção.

Na Rússia, na mesma época de Hildgard, investigações realizadas por brilhantes cientistas, liderados por V. V. Dokuchaev, descobriram camadas isoladas horizontais nos solos associadas ao clima, a vegetação e material de solo subjacente. Estas mesmas seqüências de camadas eram encontradas em áreas geográficas muitos distantes, desde

que houvesse similaridade de clima e de vegetação. O conceito de solos como corpo natural e a sua classificação com base nas características do solo no meio ambiente se tornaram bem desenvolvidas na ciência de solo da Rússia. Tais conceitos foram publicados por Glinka na Alemanha, e posteriormente compilados por C. F. Marbut no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Marbut e seus associados desenvolveram um sistema de classificação de solos (Soil Taxonomy) de âmbito nacional baseado, em grande parte, nos conceitos russos.

## 6. AS DIFERENÇAS ENTRE A PEDOLOGIA E A EDAFOLOGIA

A Pedologia e a Edafologia são dois conceitos básicos que evoluíram durante os estudos sobre solos: o primeiro considera solo como um corpo natural, como um produto sintetizado da natureza e submetido a ação de intemperismos. O segundo, imagina o solo como viveiro natural para os vegetais e justifica seu estudo com esta premissa. São portanto dois caminhos a seguir no estudo dos solos: o do pedólogo e o do edafologista.

A Pedologia (Pedon do grego, significa solo e logia estudo) estuda a origem do solo, a sua classificação e descrição. O Pedólogo considera solo simplesmente como um corpo natural dando pouca ênfase à sua imediata utilização prática. Suas descobertas podem ser úteis aos engenheiro, agricultor, geólogo, edafologista ou outro profissional.

A Edafologia (do grego “edaphos” que significa solo ou terra) é o estudo do solo, do ponto de vista dos vegetais superiores. O Edafologista é um profissional mais prático pois considera as diversas propriedades do solo, sempre as relacionando com a produção vegetal e animal, visa a produção de alimentos e de fibras, mas ao mesmo tempo precisa ser um cientista para estabelecer as razões da variação da produtividade dos solos, e descobrir os meios para manter e melhorar essa produtividade. Há estudos como o das características básicas dos solos sob o ponto de vista físico, químico e biológico que contribuem tanto para a Edafologia como para a Pedologia. O enfoque do estudo do solos que interessa aos profissionais de Ciências Agrárias é o da Edafologia sendo este o objeto dos nossos estudos de solos.

## 7. ALGUNS TERMOS USUAIS EM SOLOS

Regolito (Figura 2) é um termo utilizado para se referir ao conjunto de materiais não consolidados sobre rochas subjacentes, possui profundidade variável de centímetros a metros, e pode ser formado por material desintegrado da rocha subjacente ou ter sido transportado pelo vento, água ou gelo e depositado sobre o leito rochoso ou por cima de outro material sobrejacente.

Ao examinar a camada superior do regolito, denominada de solo, observa-se que a camada superior é rica em matéria orgânica, minhocas, microrganismos e, por estar na superfície, é submetida a maior ação do intemperismo. Esta porção superficial do regolito, bioquimicamente decomposta denomina-se de solo, que é um produto combinado de forças destrutivas como sintetizadoras, podendo ser definido como “o conjunto de corpos naturais, desenvolvido em material não consolidado e em matéria orgânica na imediata superfície da terra e que serve como ambiente natural para o crescimento vegetal, e possui propriedades conseqüentes dos efeitos climáticos e da matéria viva que atuam sobre o material original, tudo condicionado pela topografia num determinado período de tempo. Podendo-se afirmar que solo é uma função de material de origem (MO), dos organismos (O), do relevo (R), do clima (CI) e do tempo (T). A interação particular destes fatores resulta numa determinada classe de solo”:

$$S = f (MO+O+R+CI+T)$$

O termo subsolo (Figura 2) designa a camada abaixo do solo, isto é abaixo da camada de aração, com espessura acima de vinte centímetros. É importante saber as diferenças de solo e subsolo, pois como explicar uma subsolagem feita a profundidade inferior a vinte centímetros, que não atinge o subsolo? As características do subsolo afetam a maioria das produções agrícolas, as raízes penetram no subsolo donde retiram água e nutrientes, para algumas culturas as características do subsolo são mais importantes que as da camada arável. Nos trabalhos com vasos o efeito do subsolo é perdido, dificultando a extrapolação de resultados para as condições práticas de campo.

As características do solo variam de um local para outro, em função do clima, organismos, rochas, relevo e tempo. Estes fatores dentro de determinados processos de formação estabelecem sistemas de classificação de solos em que são definidos grandes números de solos isolados, cada um possuindo propriedades características que podem definir o seu comportamento, isto é, formando solos específicos, ou classes de solos. Alguns exemplos de solos específicos são os Planossolos, típicos para cultivos de arroz da região de Pelotas; os Latossolos muito utilizados em culturas intensivas como soja, trigo; os Podzólicos comumente com problemas de erosão e utilizados com culturas intensivas e pastagens; os Litólicos, solos rasos com afloramentos de rochas e utilizados com reservas florestais ou pastos.

Solo do topo, ou camada de aração, é a zona principal de desenvolvimento das raízes, camada de solo que armazena a maioria dos nutrientes e da água para os vegetais, como sofre os efeitos do cultivo, das arações e da calagem, é a camada de solo que mais reflete as condições físicas e químicas. Em geral, do ponto de vista prático a denominação solo refere-se a camada de superfície, ou camada de aração.

Igualmente importante é a diferença entre solo e amostra de solo. Os solos colocados em vasos, nos quais muitos trabalhos de pesquisa são feitos, os solos levados ao laboratório para análise, não são solos, são amostras de um solo. Um conceito interessante e original de amostra de solo feita por uma acadêmica (Donimique Michele Periotto Guhur), (no segundo ano do curso de Agronomia) é que “amostra de solo é um fragmento do solo fora do seu contexto original”. O solo só é solo quando em condições de campo, em condições naturais, com os seus fatores de produção.

Os termos fertilidade e produtividade são algumas vezes mal utilizados, mas possuem significados bem diferentes. Fertilidade se refere a capacidade intrínseca de um solo fornecer nutrientes aos vegetais em quantidades adequadas e proporções convenientes, enquanto que produtividade está relacionada com a capacidade de um solo proporcionar rendimento as culturas. Um solo fértil pode não ser produtivo por falta de água. A fertilidade, ou fator nutrientes do solo, é um dos fatores da produção assim como a luz, a água, o calor, as pragas, as doenças e muitos outros fatores, que juntos irão refletir numa maior ou menor produtividade de um solo.

A quantidade de matéria orgânica nos solos é bastante variável, mas quando predomina a fração mineral temos os solos minerais, em geral com 1 a 10 por cento de matéria orgânica, e orgânicos quando predomina a fração orgânica. Solos orgânicos incluem todos os solos com mais de 20% de matéria orgânica e de 12 a 18% de m.o. para solos continuamente saturados de água, quando se tratar de solos argilosos este teor é de 30% de matéria orgânica. Solos de brejos, da beira de rios, são solos com 80 a 95% de matéria orgânica e quando drenados podem ser altamente produtivos, como para a produção de hortaliças. Há situações em que os depósitos de matéria orgânica são tão elevados que formam as turfas, as quais podem ser exploradas economicamente e vendidas para usos em jardins e floriculturas.

A absorção de nutrientes pelos vegetais não deve ser confundida com a adsorção de íons aos colóides do solo. A adsorção é a atração eletromagnética de íons ou compostos por

uma superfície coloidal, enquanto que na absorção o íon penetra de maneira passiva ou ativa no tecido vegetal. A fixação de íons as vezes confundida com adsorção, é um processo do solo pelos quais elementos essenciais ao crescimento vegetal são convertidos das formas solúveis ou permutáveis para outras formas menos solúveis ou inassimiláveis.

## 8. O PERFIL E OS HORIZONTES DO SOLO

O perfil de um solo é a secção vertical de um solo, conforme encontrado num terreno, e revela um conjunto de camadas horizontais, mais ou menos diferenciadas, que são características de uma determinada classe de solo (Figura 3).

Assim como um perfil de uma pessoa caracteriza uma determinada raça de ser humano, e com esta informação pode-se presumir o comportamento ou deduzir uma série de novas informações, de maneira similar o perfil de um solo nos revela uma determinada classe de solo, e através do perfil pode-se prever as possíveis vantagens ou limitações do mesmo para o uso agrícola. As camadas horizontais isoladas, que constituem o perfil do solo, recebem a denominação de horizontes.

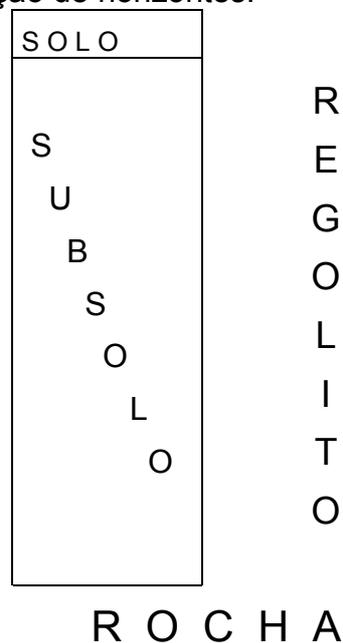


Figura 2. Uma visão geral do solo, do subsolo e do material de origem que em geral é a rocha. O material intemperizado sobre a rocha recebe a denominação genérica de regolito.

O perfil de um solo permite a sua classificação, originando as classes de solo, porexemplo: Planossolo (PL), Latossolo Roxo (LR), Latossolo-Vermelho Escuro (LE), Podzólico Vermelho-Escuro (PE), Solos Litólicos ou Litossolo (L), são classes de solo que possuem um perfil característico, que definem o seu potencial de uso, ou os problemas que poderão advir de um mal uso dos mesmos.

Designações e algumas propriedades dos principais horizontes dos solos (Figura 3):

**O** – horizonte ou camada superficial de cobertura, de constituição orgânica, sobreposto em alguns solos minerais e sem restrições de drenagem.

**H** – horizonte de constituição orgânica, superficial ou não, formado ou em formação, composto de resíduos orgânicos acumulados em condições de má drenagem, isto é, saturado com água por longos períodos do ano.

**A** – horizonte superficial mineral constituído pela mistura de matéria orgânica decomposta com as frações minerais.

**E** – horizonte formado pela remoção vertical de argila, óxidos de ferro e/ou de alumínio e matéria orgânica; zona de máxima eluviação do perfil e de cor em geral mais clara do que o B.

**AB** – horizonte de transição entre A e B, mais semelhante ao A do que ao B.

**AE** – horizonte de transição entre A e E, mais semelhante ao A do que ao E.

**A/B** – horizonte de transição entre o A e o B, no qual parte do A está envolvida por material do horizonte B.

**E/B** – horizonte que deveria ser denominado de E, exceto pela inclusão de menos de 50% do volume com características de B.

**AC** – horizonte de transição entre A e C com propriedades tanto de A como de C.

**BA e BE** – horizontes de transição entre o B e o A e E, mas mais semelhante ao B ou que ao A ou E.

**B** – horizonte de máxima iluviação ou de máxima expressão das características do B.

**C** – camada mineral de material inconsolidado, de profundidade pouco afetada por processos pedogenéticos.

**R** – letra usada para designar a rocha consolidada.

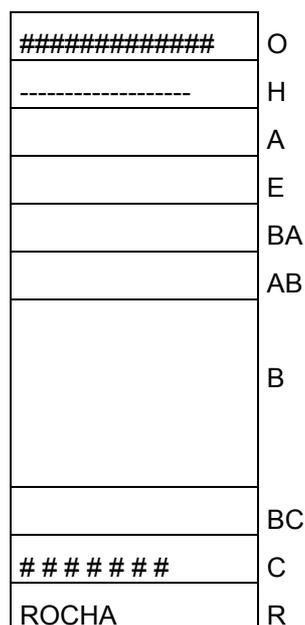


Figura 3. Esquema de um perfil de solo hipotético mostrando os principais horizontes e sub-horizontes de um solo.

As características especiais dos horizontes irão constituir os horizontes diagnósticos superficiais (A proeminente, A fraco, A chernozêmico, A proeminente e A húmico) ou subsuperficiais (B latossólico, B textural, B nátrico, B incipiente e B podzol) utilizados para identificar e distinguir as classes de solos.

## 9. OS QUATROS COMPONENTES PRINCIPAIS DO SOLO

A água, os minerais, a matéria orgânica e o ar compõem os quatro grandes componentes do solo. A proporção ideal aproximada destes componentes, num solo de superfície classificado como Franco Siltoso, com condições ótimas para o crescimento de vegetais constam na figura 4.

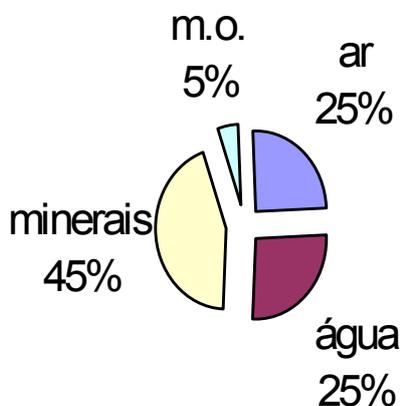


Figura 4. As quatro principais fases de um solo franco siltoso e a composição considerada ideal para este solo.

Observa-se cerca de 50% de espaço sólido com 45% de minerais e 5% de matéria orgânica, e 50% de espaço poroso com 20-30% de água e 20-30% de ar, condições consideradas ideal para este solo, mas que podem ser diferentes para um outro solo. Tais condições são bastante afetadas pela ação de cultivo inadequado reduzindo o espaço poroso e levando os solos a compactação e a danos por erosão.

### 9.1. OS COMPONENTES MINERAIS DO SOLO

Os componentes minerais do solo constituem a principal fonte de nutrientes. Em geral, solos originados de rochas ricas em nutrientes tendem a originar solos de boa fertilidade. O exame da parte mineral de um solo mostra uma grande variedade de cores, espécies e tamanho dos minerais. Alguns fragmentos minerais são tão grandes como fragmentos de rocha e outros tão pequenos, como os colóides de argila, que só podem ser vistos através de um microscópio eletrônico.

A fração areia do solo é denominado de esqueleto do solo e é formada por minerais primários, assim denominados, pois são os principais minerais que formam a maioria das rochas. Os minerais primários são: o quartzo, o feldspato, o feldspatóide, a mica (biotita e moscovita), os piroxênios, os anfibólios e os peridotitos. Os minerais secundários são os formados a medida que ocorre a formação do solo, resultam da ação do intemperismo de materiais menos resistentes. São minerais secundários as argilas silicatadas (caolinita, montmorilonita, illita) e os óxidos hidratados de ferro e de alumínio (goetita, gipsita). Em geral os minerais primários como quartzo, micas e feldspatos persistem no solo e dominam as frações maiores do solo, enquanto que os secundários são encontrados nas frações mais finas do solo como nas argilas.

Quadro 1. Composição, denominação, meios para observação e tamanho das principais partículas minerais dos solos.

Tamanho	Observação	Composição	Denominação
> 2mm	Olho nu	Fragmentos de rocha	Pedras e cascalhos
2,0 - 0,05 mm	Olho nu	Minerais Primários	Areia
0,05 - 0,002 mm	Microscópio comum	Minerais primários/ secundários	Silte
< 0,002 mm	Microscópio eletrônico	Minerais secundários	Argila

A atividade eletromagnética das partículas coloidais é de suma importância para os solos, e a maior atividade se encontra nas menores partículas do solo que se encontram no estado coloidal dentro da fração mineral denominada de argila, ou na fração orgânica denominada de húmus. São elas as responsáveis pela adsorção de íons ao solo e pelas atividades de natureza físico-química dos solos.

As amostras de solos, quando nos laboratórios, secas ao ar e tamisadas em peneiras de dois milímetros de abertura, origina a TFSA (Terra Fina Seca ao Ar). Esta mesma amostra de solo (TFSA) quando seca em estufa a 105 °C origina a Terra Fina Seca em Estufa (TFSE).

## 9.2. A MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

A matéria orgânica do solo é constituída por uma gama de resíduos da flora e fauna formadas no solo ou adicionados ao mesmo, parcial ou totalmente decompostos. São resíduos em contínua decomposição pela intensa atividade dos organismos do solo. Certamente, é a parte mais ativa do solo, apesar do seu peso reduzido, representa de 0,5 a 3% do peso dos solos, mas exerce grande influência nas propriedades físico-químicas do solo e no crescimento vegetal.

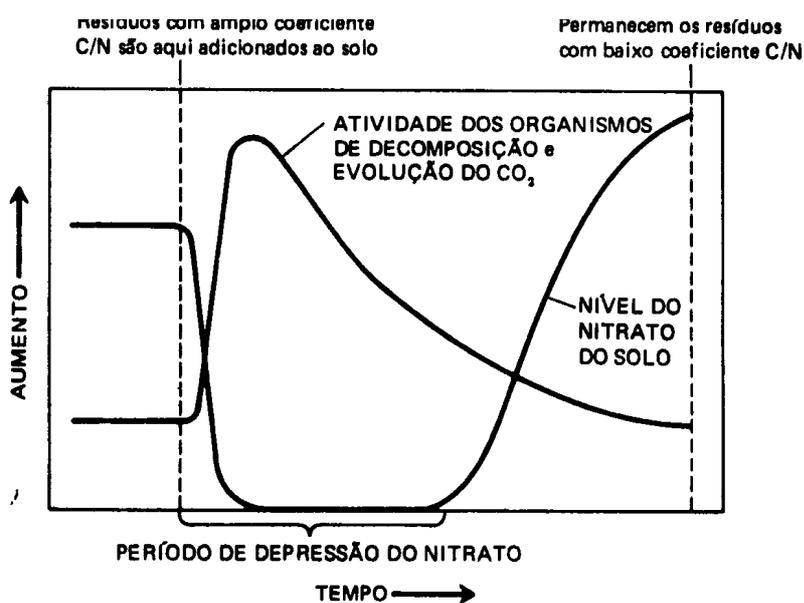
Na matéria orgânica há todos os nutrientes mas destaca-se como uma das principais fontes naturais do solo de três nutrientes: nitrogênio, fósforo e enxofre. A matéria orgânica é responsável pelo aspecto frouxo (fofo) e pelo fácil manuseio dos solos agrícolas. Devido a sua capacidade de adsorver água ela favorece de maneira significativa o aumento do volume de água que um solo pode reter. A matéria orgânica é a fonte energética para a atividade bioquímica dos organismos do solo, sem ela, o que é muito difícil de ocorrer, toda a atividade biológica do solo seria paralisada.

A matéria orgânica do solo pode ser classificada em dois grupos: a) o tecido original, como folhas, raízes e seus equivalentes parcialmente decompostos; b) o húmus ou humo que representa um conjunto de produtos da matéria orgânica mais resistentes a decomposição pelos organismos do solo. Há registros de húmus com idade entre 1000 a 1900 anos no solo. O húmus é um material de cor preta ou marrom, de natureza coloidal e a sua capacidade de adsorver íons e água ultrapassa consideravelmente as de argila mais ativas como a montmorilonita.

À matéria orgânica são atribuídos muitos “poderes” como o de recuperar solos degradados, o de conter hormônios vegetais que promoveriam o crescimento das plantas, de tal modo que sempre é sinal de inteligência, o preservar e adicionar resíduos orgânicos ao solo, e evitar as queimadas que fatalmente destroem resíduos orgânicos com milhares de anos.

A adição de resíduos orgânicos não decompostos ao solo, poderá resultar em uma situação típica de desequilíbrio. Se a mesma tiver alta relação C/N irá promover uma intensa

atividade e multiplicação de microorganismos – bactérias, fungos e actinomicetos - que resultará em deficiência temporária de nitrogênio (nitratos) para os vegetais superiores (Figura 5).



DA 9.5. Relações químicas entre a atividade de decomposição e a evolução do CO<sub>2</sub>

Figura 5. Expressão gráfica das alterações do nível do nitrato e da atividade de microrganismos quando da adição ao solo de resíduos com alta relação carbono/nitrogênio.

Com o passar do tempo, ao diminuir a formação de CO<sub>2</sub>, o nitrogênio deixa de ser escasso e a atividade de microrganismos de finalidades gerais como a nitrificação passam a dominar as atividades dos organismos do solo. A partir de então a disponibilidade de nitrogênio passa a ser mais do que suficiente para os vegetais superiores, tornando o solo mais rico em nitrogênio.

### 9.3. O AR DO SOLO

O ar do solo possui características bem diferentes do ar atmosférico: o ar do solo ocupa um labirinto de poros, principalmente os macroporos, sua composição é bastante variável de um ponto para outro, mas pode se afirmar que o ar do solo possui umidade relativa próxima de 100%, quando está com bom teor de umidade. Devido a atividade dos microrganismos o seu teor em CO<sub>2</sub> é bastante elevado e o de oxigênio mais reduzido que o da atmosfera (Quadro 2).

O ar do solo ocupa principalmente os macroporos, mas a medida que o solo seca ele passa a ocupar os poros intermediários. O montante e a dinâmica da água do solo é que determinam, em grande parte, a composição do ar do solo. As chuvas costumam renovar o ar do solo, sendo comum o cheiro de terra quando chove.

Quadro 2. Principais características que diferenciam o ar do solo do ar atmosférico.

Componentes	Ar do solo	Ar atmosférico
Umidade	100%	<100%
Bióxido de carbono	>3%	0,03%
Oxigênio	10-12%	20%

As condições consideradas ótimas para o crescimento vegetal são as que favorecem um alto teor de oxigênio e baixos de dióxido de carbono, favorecendo as atividades de organismos aeróbicos benéficos aos organismos do solo. As práticas de manejo de solos que provoquem a sua compactação podem reduzir o crescimento vegetal por dificultar a respiração das plantas.

#### **9.4. A ÁGUA DO SOLO**

A água do solo tem ação solvente junto aos nutrientes no solo formando a solução do solo, seu teor no solo deve atender as necessidades das plantas e não impedir a sua respiração.

O entendimento da dinâmica da água do solo depende inicialmente de conhecer parâmetros do solo como capacidade máxima de retenção de água, capacidade de campo, coeficiente de higroscópico, e da planta como ponto de murcha temporário e permanente e da água como água higroscópica, de capilaridade e água gravitacional.

A plasticidade do solo depende dos seus teores de água afetando o momento adequado de preparo e manejo do solo.

#### **9.5. SOLO COMO AMBIENTE PARA OS ORGANISMOS**

Animais como roedores, insetos e suas larvas, minhocas, bactérias, nematóides, vírus, os vegetais, com suas raízes e os fungos, fazem do solo o seu nicho natural. A quantidade e o número de organismos de um solo são bastante variáveis e difíceis de mensurar, por exemplo, em um grama de solo o número de bactérias pode variar entre 100.000 a vários bilhões.

As reações do solo são todas dependentes das atividades vivas do solo e por menor que seja o seu conteúdo no solo é sempre capaz de promover influências marcantes sofre as atividades físicas e químicas do solo. Na realidade todas as reações do solo são de natureza bioquímica.

A decomposição da matéria orgânica, fenômeno de extrema complexidade, inicia com as grandes desintegrações dos resíduos por insetos e minhocas até a decomposição final por bactérias e fungos. O processo de decomposição, ou da mineralização da matéria orgânica é acompanhado pela liberação constante dos vários nutrientes do complexo orgânico, principalmente liberação de nitrogênio, enxofre e fósforo. Os nutrientes liberados são novamente imobilizados pelos microorganismos formando a biomassa do solo, desse modo ocorre uma ciclagem dos nutrientes.

Imobilização → M. O. → Decomposição → Mineralização

#### **9.6. O HÚMUS DO SOLO**

Um dos produtos da atividade bioquímica do solo é a síntese do húmus. O ataque dos organismos ao tecido orgânico produz compostos resistentes ao ataque microbiano, óleos, gorduras e ceras, e compostos menos resistentes como polissacarídeos e poliurenídeos. A estrutura básica do humo é formada por um composto modificado do material originário e por compostos recém sintetizados pelos microorganismos. O humo recém formado é muito resistente ao ataque de microorganismos, desse modo, os nutrientes essenciais são protegidos do efeito da imediata solubilização e lixiviação.

As características de resistência a degradação e de solubilidade das substâncias húmicas são agrupadas em função da solubilidade em ácidos e álcalis e do tamanho da cadeia molecular: a) os ácidos fúlvicos, são de cor clara, de baixo peso molecular e solúvel em ácidos e álcalis, são os mais susceptíveis ao ataque microbiano; b) os ácidos húmicos, são de cor e peso molecular intermediária, são insolúveis em ácidos mas solúvel em álcalis, com resistência intermediária a degradação; c) as huminas, com peso molecular mais elevado e de cor escura, são insolúveis em ácidos e em álcalis. São mais resistentes aos ataques microbianos. O ácido fúlvico, é um produto menos estável nos solos e pode permanecer no solo de 10 a 25 anos. Mesmo sendo diferentes do ponto de vista químico e físico, os ácidos orgânicos são todos compostos com capacidade de adsorção e liberação de íons muito semelhantes.

Uma definição clássica de humo é “O humo é uma mistura complexa e muito resistente, de substâncias amorfas e coloridas de cor castanha ou castanha escura, que foram modificadas a partir dos tecidos originais ou sintetizados pelo diversos organismos do solo”. Definição que auxilia na determinação do momento em que um resíduo orgânico é considerado decomposto, e humificado pois irá adquirir a cor escura castanha ou preta, como do húmus, e não se conseguirá identificar os tecidos originais, além de outras características com o cheiro e a cor.

O húmus junto com a argila do solo são partículas isoladamente muito pequenas, de tamanho coloidal, possuindo áreas externas enormes por unidade de peso e com cargas de superfície que atraem íons e moléculas de água. São partículas tão importantes que a elas são atribuídas a responsabilidade pelas características físicas e químicas do solo. São centros das atividades químicas e de trocas de substâncias nutritivas e protegem os íons da lixiviação, liberando-os gradativamente.

## **10. OS NUTRIENTES ESSENCIAIS PARA AS PLANTAS**

O ar e a água são fontes de três nutrientes: carbono, hidrogênio e oxigênio, considerados essenciais as plantas. Outros, retirados do solo, são considerados macronutrientes primários das plantas (nitrogênio, fósforo, potássio) e macronutrientes secundários (cálcio, magnésio e o enxofre). São micronutrientes das plantas: o manganês, o ferro, o cobre, o zinco, o molibdênio, o boro e o cloro. A diferenciação entre macro e micronutrientes se deve as quantidades no solo e na planta e na faixa de toxidez. Os macronutrientes existem em quantidades bem mais elevadas do que os micronutrientes e com maior faixa de toxidez. Os micronutrientes possui faixa de toxidez bem estreita, significando maiores riscos de toxidez quando da aplicação de micronutrientes.

Os micronutrientes são requeridos em baixa quantidade pelas plantas. Os solos férteis, em geral, são capazes de fornecer quantidades suficientes para o crescimento vegetal. Por outro lado, os macronutrientes primários são requeridos em quantidades que raramente os solos são capazes de fornecer, sendo necessária a aplicação destes nutrientes na forma de fertilizantes.

## **11. A DISPONIBILIDADE DOS NUTRIENTES NO SOLO**

O total de nutrientes no solo representa o potencial de nutrientes do solo mas não a quantidade disponível para as plantas. Em geral, não passa de 2% do total de nutrientes que num solo são disponíveis.

No solo os nutrientes podem ser encontrados numa estrutura sólida, na estrutura cristalina de minerais ou de partículas finas de argila e humus, que retém os elementos essenciais sob forma relativamente indisponíveis, ou na forma de agregação de cátions

retidos na superfície das partículas coloidais de argila e de humo, ou ainda na forma de íons solúveis na solução do solo, estes últimos em quantidades bem menores que os adsorvidos aos colóides.

Quadro 3 . Porcentagem das diferentes formas de potássio em um solo hipotético.

Formas	Porcentagem
Rede cristalina	90-98
Fixado	1-10
Trocável + solúvel	1-2
Matéria orgânica	0,5-2

Há um certo equilíbrio entre os nutrientes que se encontram na forma mineral, adsorvido e em solução. A medida que os vegetais absorvem nutrientes da solução do solo, novos nutrientes adsorvidos são colocados em solução, e por ação do intemperismo novos nutrientes na forma mineral são liberados para serem adsorvidos.

Íons da estrutura mineral  $\rightleftharpoons$  cátions adsorvidos  $\rightleftharpoons$  cátions em solução

Dentro de certos limites, as reações são reversíveis possibilitando a adição de nutrientes solúveis mantendo-os retidos sob as formas menos solúveis, evitando que os mesmos sejam perdidos por lixiviação de íons da solução do solo.

Os ânions macronutrientes ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{SO}_4^-$ ) são componentes essenciais de proteínas, amino ácidos e ácidos nucleicos das estruturas dos tecidos vegetais e a mineralização da matéria orgânica resulta como produto final a liberação destes ânions. O processo inverso, em que os nutrientes são convertidos em formas orgânicas é denominado de imobilização.

## 12. A SOLUÇÃO DO SOLO E AS SUAS REAÇÕES

A solução do solo nada mais é que a água do solo onde quantidades variáveis de íons se encontram solubilizados. Ela se localiza nos microporos, é descontínua e fica estocada nos microporos do solo, sendo bastante variável a sua composição de um ponto para outro. A medida que os vegetais absorvem nutrientes da solução do solo, íons adicionais são liberados da forma permutável ou da matéria orgânica para a solução do solo, de modo que a solução do solo é considerada um extraordinário sistema de fornecimento de nutrientes para as plantas.

A reação da solução do solo pode ser ácida, quando apresenta excesso de íons hidrogênios ( $\text{H}^+$ ), alcalina, quando apresenta excesso de hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ) e neutra quando há um equilíbrio entre as concentrações destes íons. A reação do solo, expressada como pH, é o logaritmo negativo da concentração de íons hidrogênios e pode ser apresentada como segue:

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]} = -\log [\text{H}^+]$$

A principal importância da reação do solo é que a mesma afeta diretamente a disponibilidade dos nutrientes (Figura 6) e o tipo de íon predominante na solução do solo. Com pH inferiores a cinco. A quantidade disponível destes íons (alumínio, ferro e manganês) pode torná-los tóxicos as plantas. Num solo ácido em que o pH foi elevado de 5 para 7,5 a redução da solubilidade de nutrientes como ferro, manganês e zinco pode ocasionar deficiências no vegetal. A faixa de pH de 6,0 a 6,5 tem sido considerada como ótima para o crescimento da maioria das plantas cultivadas, havendo muitas excessões mesmo em culturas de interesse econômico.

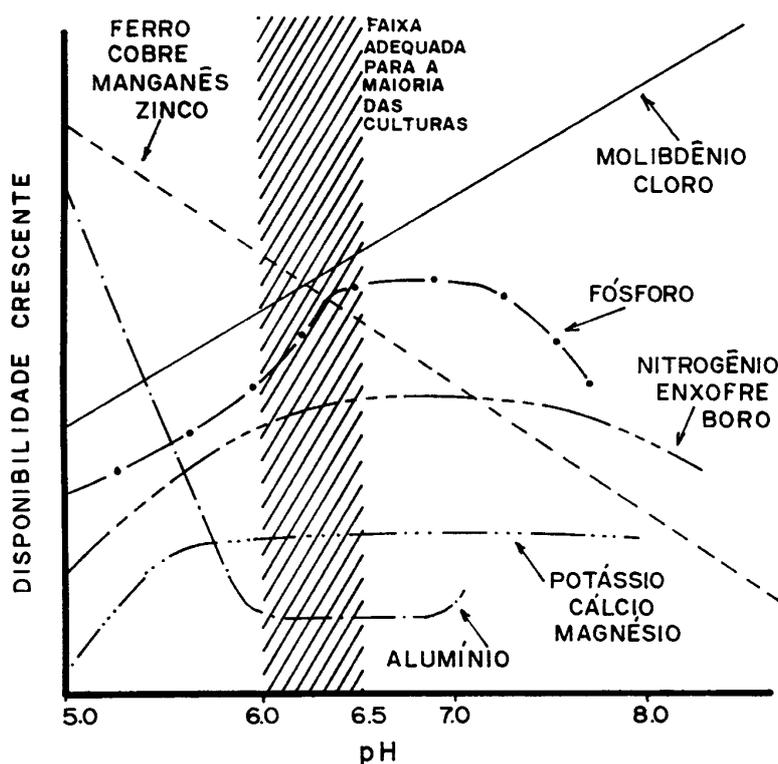


Figura 6. Disponibilidade dos macronutrientes, micronutrientes e do alumínio em função do pH do solo e faixa de pH considerada ideal para a maioria das culturas (Lopes, 1989).

### 13. O SOLO E A ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELAS PLANTAS

A absorção dos nutrientes não depende somente das condições ótimas para a absorção dos nutrientes, mas também da quantidade e do equilíbrio entre os nutrientes, embora existam outras condições nas quais as características dos nutrientes e das plantas estejam envolvidas. Há três maneiras clássicas pelas quais os nutrientes são absorvidos pelas plantas: interceptação radicular, fluxo de massa e difusão de íons (Quadro 4).

Quadro 4. Porcentagem de macronutrientes primários fornecidos por interceptação radicular, fluxo de massa e por difusão numa cultura de milho.

Nutrientes	Interceptação	Fluxo de massa	Difusão
Nitrogênio	1%	99%	0%
Fósforo	3%	6%	91%
Potássio	2%	20%	78%

Na interceptação radicular a medida que as raízes penetram no solo entram em contato com os íons adsorvidos aos colóides do solo. No fluxo de massa os nutrientes se deslocam para as raízes junto com a água absorvida pelos vegetais. Na difusão de íons, no local onde as raízes absorvem os íons é criado um gradiente de concentração entre a zona imediatamente ao redor das raízes e a zona mais afastada do local de absorção. Alguns nutrientes são tipicamente absorvidos por uma determinada condição ou outra, fator importante no manejo dos fertilizantes minerais.

### 14. CONCLUSÕES

Com um conhecimento global de solos pode-se partir para um estudo mais detalhado e aprofundado do solo, da sua química, da sua física e da sua biologia. Os solos são muito parecidos com os seres humanos, por mais que se estude, há sempre muito mais para aprender. Os conhecimentos básicos são sempre válidos mas as regras gerais são cheias de excessões onde nem tudo que parece ser é verdadeiro, os casos específicos como no ser humano contrariam todas as regras conhecidas, mas sempre restam os princípios que regem o Universo e todas as leis, as regras ou excessões.

A excessiva complexidade dos solos torna o seu estudo mais empolgante e maravilhoso, para um cientista nada mais apaixonante do que o desconhecido, do que o andar no escuro a procura de uma nova luz, a procura do conhecimento novo. E o solo oferece estas condições, os que mais estudaram os solos sabem que aprenderam que pouco sabem sobre este universo que está sob nossos pés. Um exemplo da complexidade dos solos constatamos na humilde manifestação de Foy, em Viçosa, em 1980, grande pesquisador de alumínio na planta, na época com mais de vinte anos de pesquisa, que questionado sobre o efeito do alumínio em café, ele reconheceria que nada sabia sobre tal fato.

Os conhecimentos atuais sobre solo são relativamente antigos, mas ainda utilizamos, os conhecimentos adquiridos na sua maioria com mais de cem anos. A ciência do solo precisa de uma verdadeira revolução, ou melhor de uma nova Ciência do Solo, com conhecimentos mais profundos, recentes e globalizados da sua dinâmica. Os antigos paradigmas do solo precisam ceder lugar aos novos conhecimentos.

**15. LITERATURA CONSULTADA**

PRADO, H. Manual de classificação de solos do Brasil (2 edição). Jaboticabal, FUNEP, 1995. 197p.

BRADY, N.C. & WEIL, R. R. The nature and properties of soils. (Eleventh Edition). New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1996. 742p.

FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. Glossário de termos e expressões em ciência do solo. Viçosa, Imprensa Universitária, 1982. 97p.

CURI, N.; LARACH, J. I. ; KAMPF, N.; MONIZ, C. & FONTES, L. E. F. Vocabulário de ciência do solo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.

Lopes, A.S. Manual de fertilidade do Solo (Tradução), ANDA/POTAFOS, 1989. 153p.

## QUESTÕES: UMA VISÃO GLOBAL DE SOLOS

1. Explique a relação do desenvolvimento de uma região com a riqueza do solo.
2. Quais as evidências do mau uso do solo? Explique as fontes básicas do conhecimento em solos.
3. O uso do esterco, de leguminosas, de cinzas e do enxofre são práticas agrícolas recentes. Certo, errado. Justifique.
4. Explique os experimentos de: Helmont, Woodward, Tull e de Boussingault.
5. Explique os trabalhos de Liebig.
6. Diferencie Pedologia de Edafologia.
7. Explique regolito, solo e subsolo.
8. A formação de um solo depende da interação de que fatores.
9. Diferencie solo de amostra de solo.
10. Explique fertilidade e produtividade.
11. Diferencie solo mineral de solo orgânico.
12. Diferencie adsorção de absorção de íons, e de fixação.
13. Explique perfil e horizontes de solo. Desenhe exemplos típicos de perfis de solos.
14. Explique os quatro componentes principais de solos.
15. O que você entende por areia, silte e argila do solo?
16. Diferencie TFSA de TFSE.
17. Qual a importância das partículas coloidais do solo?
18. Que nutrientes estão relacionados a matéria orgânica do solo?
19. Como pode ser classificada a matéria orgânica do solo?
20. Explique o que pode ocorrer quando adicionar-se ao solo resíduos com alta relação C/N.
21. Quais as principais características do ar do solo em relação ao ar atmosférico?
22. Que organismos habitam o solo e explique a sua importância?
23. Na decomposição da matéria orgânica em que momento ocorre a liberação de nutrientes?
24. Porque o húmus não é decomposto como os outros resíduos orgânicos?
25. Diferencie mineralização de imobilização.
26. Quais as principais substâncias húmicas?
27. Qual o conceito de húmus?
28. Porque o húmus e a argila são tão importantes para o solo?
29. Quais os nutrientes essenciais para as plantas e como agrupá-los? Cátions? Ânions?
30. Todo o nutriente do solo é disponível para as plantas. Certo, errado. Justifique.
31. O que entende por solução do solo? Comente sobre a sua importância.
32. O que entende por pH? Comente sobre a sua importância para as plantas.
33. Explique interceptação radicular, fluxo de massa e difusão de íons.
34. Faça sugestões que possam contribuir na formação da apostila.

***“Uma tarefa difícil fica mais fácil quando desdobrada”***