



EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA

CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO TRÓPICO SEMI-ÁRIDO

FOL  
286

Fertilidade de Solo e Adubação Mineral do Feijoeiro<sup>1</sup>/

Fertilidade de solo e adubação  
1979 FL - 02423



35432-1

Carlos Eugênio Martis<sup>2</sup>/

Luiz Balbino Morgado<sup>2</sup>/

Clementino Marcos Batista de Faria<sup>2</sup>/

Petrolina, junho, 1979.

1. Contribuição para o curso sobre a cultura do feijoeiro para os extensores da EMATERBA.
2. Pesquisadores do CPATSA/EMBRAPA - C.P. 23. Petrolina - PE.

## Í N D I C E

Conteúdo	Página
- Conceitos e importância do solo para a agricultura.....	1
- Composição do solo.....	2
- Origem das cargas negativas.....	4
- Origem das cargas positivas.....	5
- Troca de cations e anions.....	6
- Acidez do solo.....	7
- Causas da acidez.....	7
- Correção da acidez.....	8
- Fertilidade do solo, conceitos.....	9
- Disponibilidade de nutrientes.....	10
- Nitrogênio, fósforo e potássio no solo.....	11
- Influência de NPK no desenvolvimento vegetal.....	14
- Principais sintomas de deficiência.....	15
- A aquisição de nitrogênio.....	16
- Fixação de nitrogênio.....	16
- A fisiologia da formação dos nódulos.....	17
- Resultados de experimentos de adubação.....	20
- Bibliografia consultada.....	25

## CONCEITO E IMPORTÂNCIA DO SOLO PARA AGRICULTURA

O solo sob o ponto de vista agrícola, pode ser considerado como uma mistura de materiais minerais e orgânicos da superfície da terra que serve de ambiente para o crescimento das plantas.

O solo contribui com 5% para composição química total da planta, fornecendo-lhe diretamente os nutrientes nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio, magnésio, enxofre, zinco, ferro, manganês, boro, cobre, molibdênio e cloro. O carbono, oxigênio e hidrogênio completam o restante e são fornecidos pela atmosfera e a água (ALVIM, 1972). Embora o solo participe apenas com esta pequena percentagem, porém esta é uma quantidade sem a qual a planta não pode sobreviver e entre os outros meios, atmosfera e água, fornecedores de nutrientes, o solo é o que se torna mais fácil para o homem interferir de modo a propiciar melhores condições para o desenvolvimento das culturas.

Além de fornecer nutrientes, o solo armazena água e ar para utilização das plantas e serve como meio de sustentação destas.

### Composição do Solo

O solo é constituído de quatro componentes principais: material mineral, material orgânico, água e ar. A proporção de cada um desses componentes varia de solo para solo. Segundo BUCKMAN & BRADY (1974) um solo ideal para o desenvolvimento das plantas, seria o solo que apresentasse 45% da parte mineral, 5% da parte orgânica, 25% da parte gasosa e 25% da parte líquida.

A parte mineral é constituida de partículas unitárias originadas do intemperismo das rochas, de variáveis tamanhos. Conforme o tamanho, essas partículas são chamadas de argilas (partículas menores que 0,002 mm), silte (partículas entre 0,002 a 0,02 mm, areia (partículas entre 0,02 a 2,00 mm). Acima de 2,00 mm são chamadas de cascalhos, calhaus e matacões.

São nas frações menores, silte e argila, principalmente nesta última, onde se realizam as reações de maior importância para o desenvolvimento plantas.

### Tipos de Argila

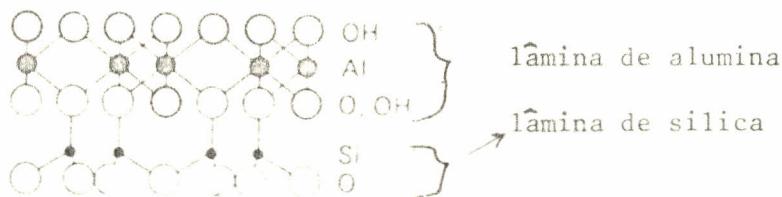
Em resumo, as argilas são classificadas em argilas silicatadas e argilas não silicatadas.

Argilas silicatadas são silicatos hidratados de alumínio e silício. Neste grupo estão incluídas as argilas dos tipos 1:1 e 2:1.

Argilas do tipo 1:1, são as que têm uma lâmina de sílica para uma de alumina e as do tipo 2:1 têm duas lâminas de sílica para um de alumina.

As figuras seguintes esquematizam a estrutura das argilas dos grupos 1:1 e 2:1.

Tipo 1:1



Tipo 2:1

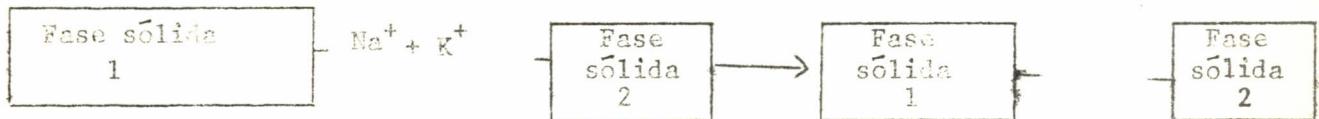
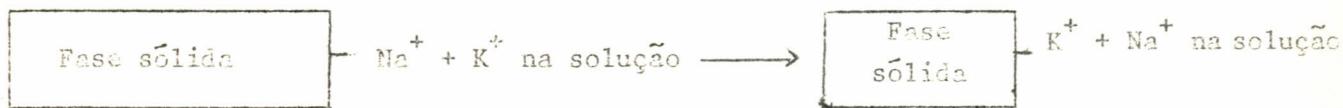


Como exemplo de argilas do grupo 1:1, cita-se a caulinita e do grupo 2:1, cita-se a montmorilonita.

Argilas não silicatados são óxidos e hidróxidos de Alumínio e Ferro. Os hidróxidos podem ser representados pela fórmula geral de  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ , onde x, indica o número de moléculas d'água associada ao mineral. Como exemplo, cita-se a Gipsita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), a Goetita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Para os óxidos, cita-se a Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

### TROCA IÔNICA

"A troca iônica é o processo reversível pelo qual íons retidos na superfície de uma fase sólida são substituídos por quantidade equivalente de outros íons, quer estesjam estes em solução numa fase líquida, quer estejam ligados a outra fase sólida, em contato com a primeira" (WUTKE & CAMARGO, 1975).



A troca iônica é tida como o fenômeno de maior importância que ocorre no solo para os processos de nutrição vegetal.

A troca ou adsorção iônica verifica-se nos componentes com elevada superfície específica, ou seja, que possuem em alto grau de divisão de suas partículas, como as argilas e a matéria orgânica. Para que essa troca iônica ocorra, há necessidade que exista no meio (fase sólida e líquida do solo) cargas elétricas livres e íons trocáveis.

No solo os íons trocáveis mais importantes são os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{NH}_4^+$  e os anions  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$ . Estes íons encontram-se na fase líquida do solo ou adsorvidos na superfície da fase sólida.

As cargas elétricas existem na superfície da fase sólida do solo e podem ser negativas e positivas. Geralmente há uma superioridade muito grande do número de cargas negativas sobre o de cargas positivas.

### Origem das Cargas Negativas

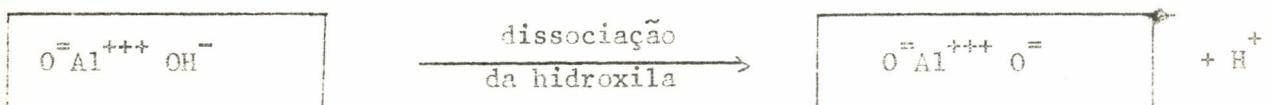
#### A) Nas argilas:

1) Valências não atendidas nas arestas quebradas das lâminas de silica e alumina.

2) Nas superfícies externas achataadas de minerais como a caulinita. Ocorre a dissociação do grupo hidroxílico ligado ao alumínio da lâmina octaedral (lâmina de alumina).

Lâmina de alumina  
sem carga livre

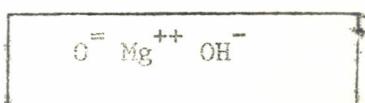
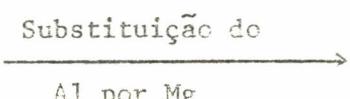
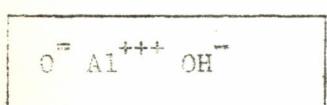
Lâmina de alumina com excesso de carga negativa



3) Substituição iônica ou isomórfica. Este processo é mais comum nas argilas do grupo 2:1. Trata-se da substituição dos átomos de alumínio ou silício das lâminas de alumina ou silica por átomos de valência menor do que aqueles.

Lâmina de alumina

Lâmina de alumina

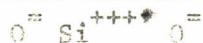


nenhuma carga elétrica livre

excesso de uma carga negativa

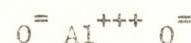
Lâmina de silica

Lâmina de silica



Substituição do  
Si por Al

nenhuma carga



excesso de uma carga  
negativa

3) Na matéria orgânica - As cargas negativas existentes nas argilas originam-se da dissociação dos radicais carboxílicos e fenólicos.

Radical Carboxílico

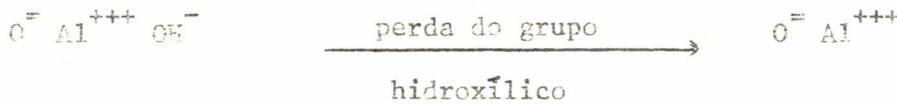


Radical Fenólico



### Origem das Cargas Positivas

A principal origem das cargas positivas é nos hidróxidos de alumínio e ferro do solo, pela perda do grupo hidroxílico destes compostos.



nenhuma carga livre

excesso de uma carga

Este mesmo processo pode ocorrer nas lâminas de alumina da caulinita.

### Troca de Cations

Os cátions em forma de íons na solução do solo encontram-se em equilíbrio dinâmico com aqueles adsorvidos nas superfícies sólidas. Dessa forma, um determinado cátion que se encontra ligado a uma superfície adsorvente pode ser substituído por outro cation livre na solução. Essa capacidade do solo permutar cations é designada por capacidade de troca de cations (CTC) e é facilmente determinada nos laboratórios, cujo valor é expresso em eq.gm/100 g, ou seja, equivalente miligramas de cations adsorvidos em 100 g de solo.

### Troca ou Adsorção de anions

A troca de anions é muito mais difícil de ser avaliada do que a de cations nos laboratórios. Há necessidade de análises mais específicas e com maiores detalhes.

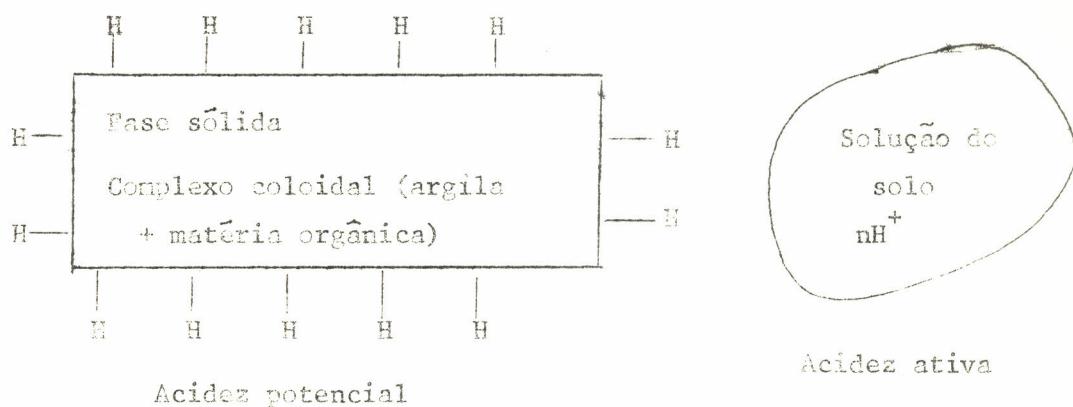
## ACIDEZ

Existem dois tipos de acidez do solo:

**1. Acidez ativa ou iônica** - É representada pela concentração de ions de hidrogênio,  $H^+$ , livres na solução do solo e é indicada pela determinação do pH.

**2. Acidez potencial, de reserva ou trocável** - É representada pela quantidade de íons de hidrogênio,  $H^+$ , adsorvidos na superfície da fase sólida do solo. Pode ser avaliada nas análises de solo, pelas determinações de H e Al trocáveis, cujos valores são expressos em eq.mg/100 g de solo.

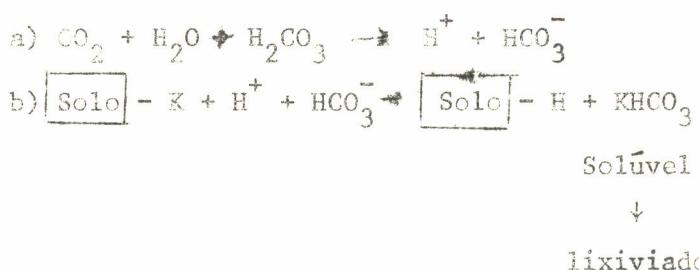
A concentração de íons de  $H^+$  na solução está em equilíbrio dinâmico com os íons de  $H^+$  adsorvidos.



A acidez potencial é de maior importância do que a acidez ativa.

## CAUSAS DA AGIDEZ

1. Nos climas úmidos, as águas das chuvas que percolam através de perfil do solo lixiviam as bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ) e por outro lado, os íons  $\text{H}^+$ , resultante da dissociação do ácido carbônico, que por sua vez é formado do gás carbônico do ar com a água do solo, substituem os pontos de troca deixados pela lixiviação dessas bases.



2. Pelo cultivo intenso do solo quando não se faz um suprimento a dequado de cálcio e magnésio. Neste caso, ao mesmo tempo que vai havendo uma remoção das bases como nutrientes, vai havendo uma liberação de hidrogênio por parte das raízes.

3. Remoção das bases pela erosão, considerando que geralmente a camada superficial do solo possui maiores teores de cálcio e magnésio do que as camadas do sub-solo.

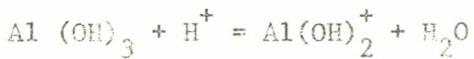
4. Pela dissociação dos grupos carboxílicos COOH e OH da matéria orgânica adicionada ao solo. Com essa dissociação, há uma liberação dos íons H<sup>+</sup> para a solução do solo.

5. Pela adição contínua de alguns fertilizantes, como o sulfato de amônio.



Essencialmente, é a nitrificação do amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) que provoca acidez nas adubações com sulfato de amônio (MALAVOLTA, 1967).

A medida que o solo se torna ácido, pelo aumento da concentração de íons de H na solução, os hidróxidos de alumínio, ferro e manganês, não se solubilizam, conforme mostra o esquema abaixo:



Este alumínio solúvel, Al<sup>+++</sup>, fica na solução e adsorvido ao solo, tornando-se tóxico para as plantas.

### CORREÇÃO DE ACIDEZ

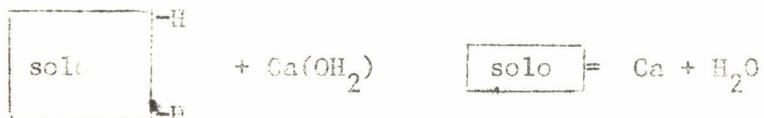
A correção da acidez se faz com aplicação de compostos ao solo para neutralização dos íons de hidrogênio e alumínio solúveis na solução ou adsorvidos na superfície de troca do solo.

Os compostos que têm ação neutralizante, são os óxidos, hidróxidos e carbonatos de cálcio e/ou magnésio. Essa neutralização pode ser ilustrada, conforme esquemas seguintes:

Óxido



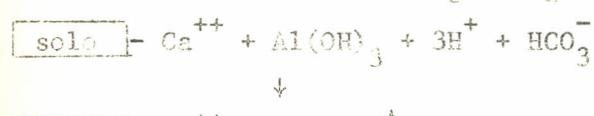
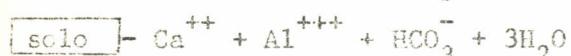
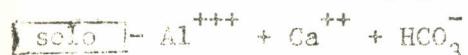
Hidróxido



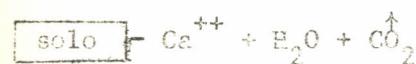
Carbonato



Carbonato de Cálcio reagindo com alumínio trocável



↓



FERTILIDADE DO SOLO, CONCEITOS.

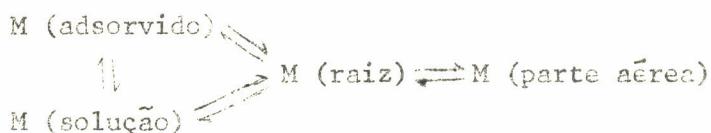
Fertilidade do solo é a capacidade que um solo tem de liberar nutrientes para a planta.

Solo fértil - é o que contém em quantidades suficientes e平衡adas, todos os nutrientes essenciais em formas disponíveis para as plantas.

Solo produtivo - é aquele que além de ser fértil, possue boas características físicas e encontra-se localizado em uma região de boas condições climáticas para o crescimento das plantas.

### DISPONIBILIDADE DOS NUTRIENTES NO SOLO

Os nutrientes encontram-se no solo como constituintes da fase sólida, adsorvidos na fase sólida e dissolvidos na solução do solo. Os nutrientes dissolvidos na solução e uma parte dos nutrientes adsorvidos são tidos como formas disponíveis para as plantas, como ilustra o esquema seguinte:



onde o M, representa o ion transportado.

Essas formas disponíveis, comportam-se como cátions e ânions dispersos no meio (fase sólida e líquida do solo).

Como a maioria das cargas elétricas do solo são negativas, há uma tendência dos nutrientes que estão sob a forma de cations, como o  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$ , ficarem adsorvidos (retidos) nas superfícies adsorventes do solo e serem pouco móveis. Ao contrário, os nutrientes sob a forma de ânions, como  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $BO_4^{3-}$ , são bastante móveis porque a maior parte encontra-se na fase líquida do solo. O fósforo apesar de se comportar como anion,  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$ , constitue uma exceção, sendo um dos nutrientes menos móvel no solo. Esse fato verifica-se porque, além do fósforo ser adsorvido pelas poucas cargas positivas existentes no solo, ele reage com alguns cations livres na solução do solo, como o  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ , etc, formando compostos e em seguida precipitando-se.

Quando se adiciona fertilizantes ao solo, eles se dissolvem e dividem-se em íons positivos e negativos.

Alguns fatores podem alterar a disponibilidade dos nutrientes no solo. A adição de fertilizantes tende a aumentar a concentração do nutriente na solução, enquanto que a exploração contínua do solo pela planta, tende a di-

minuir o nutriente na solução. O déficit de umidade no solo diminui a solubilidade dos nutrientes no solo. O pH do solo é outro fator que também interfere na disponibilidade dos nutrientes (WUTKE, 1975). Em pH baixo diminui a disponibilidade de nitrogênio, fósforo, enxofre, molibdênio e aumenta a disponibilidade do ferro, manganês, cobre, zinco. Em pH alto, acima de 7,5, diminui a disponibilidade do fósforo e boro. O potássio, cálcio, magnésio e cloro não são influenciados diretamente pelo pH.

O equilíbrio das formas disponíveis são mais facilmente alterados nos solos arenosos e/ou pobres em matéria orgânica do que nos solos argilosos e/ou ricos em matéria orgânica.

### NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NO SOLO

Nitrogênio no solo: A fonte principal desse nutriente na natureza é o ar. A atmosfera contém cerca de 78% de  $N_2$ , (EPSTEIN, 1975). Para que esse nitrogênio elementar torne-se disponível para as plantas, ele passa pelos seguintes processos:

- 1 - Fixação - Essa fixação se dá pelos microorganismos do solo. Destes, existem os microorganismos livres e os que vivem em simbiose com as plantas.
- 2 - Decomposição dos microorganismos - Quando os microorganismos morrem, na sua decomposição as proteínas são liberadas que por sua vez liberam os aminoácidos. Em seguida, bactérias amônificantes atacam os aminoácidos, os quais liberam os grupos amônicos em forma dos íons amônios ( $NH_4^+$ ). É o processo chamado de mineralização. Nesta forma de amônio, o nitrogênio já é absorvido pelas plantas.
- 3 - Nitrificação - O íon  $NH_4^+$  é convertido (oxidado) para nitrito ( $NO_2^-$ ) e logo em seguida para nitrato ( $NO_3^-$ ) por bactérias autotróficas do gênero nitrosomonas e nitrobacter, respectivamente. Essas outras duas formas,  $NO_2^-$  e  $NO_3^-$  são também absorvidas pelas plantas.

Termina então, os processos pelos quais o nitrogênio em sua forma elementar, torna-se disponíveis para as plantas.

Essas formas,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$ , além de poderem ser absorvidas pelas plantas podem tomar outros destinos:

Do  $\text{NH}_4^+$  (amônio):

- 1 - Ser absorvido pelos microorganismos do solo, é o processo chamado imobilização.
- 2 - Ser adsorvido pelo solo
- 3 - Ser fixado pelas argilas do tipo 2:1
- 4 - Ser convertido a  $\text{NO}_2^-$  e a  $\text{NO}_3^-$  (oxidação)
- 5 - Ser perdido para atmosfera em forma de amônia ( $\text{NH}_3$ )

Do  $\text{NO}_3^-$  (nitrato):

- 1 - Ser absorvido pelos microorganismos do solo (imobilização)
- 2 - Ser lixiviado
- 3 - Ser volatilizado, quando ocorre o processo de desnitrificação que é a redução do  $\text{NO}_3^-$  para formas gasosas, óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxido nítrico ( $\text{NO}$ ), dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) e nitrogênio elementar ( $\text{N}_2$ ).

As mudanças nas formas do nitrogênio no solo, estão muito influenciadas pelas condições de umidade, aeração e temperatura do solo, assim como pela relação carbono/nitrogênio da matéria orgânica.

A quantidade de nitrogênio orgânico sempre representa a maior percentagem. E das formas minerais, é o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) que contribui com a maior parte (BLACK, 1968). A concentração do nitrato na solução do solo pode chegar a valores bastante altos, como 80 ppm, o que explica a grande mobilidade do nitrogênio no solo e sua facilidade de se perder por lixiviação.

Fósforo no solo - Como fonte natural de fósforo no solo, temos a matéria orgânica e os minerais. Dos minerais, pode-se citar as apatitas, que são fosfatos de cálcio, a varicita, que o fosfato de alumínio e a estrengita, que é o fosfato de ferro.

Quando o fósforo solúvel dos fertilizantes é adicionado ao solo, uma grande parte é logo adsorvida pelo solo e o restante fica na solução do solo que é então disponível para a planta. O teor do fósforo na solução do solo é muito baixo, variando de 0,01 - 0,1 ppm (BLACK, 1968), razão pela qual ele é pouco móvel no solo e não se perde por lixiviação e tem um efeito residual muito grande.

À medida que a planta retira o fósforo da solução do solo ele é renovado com bastante velocidade pelas formas de fósforo adsorvidas.

O teor de fósforo que as análises de solo oferece, refere-se exatamente ao P-solução mais uma grande parte do P-adsorvido.

Potássio no solo - As fontes naturais de potássio no solo, é também a matéria orgânica e os minerais. Dos minerais, pode-se citar os feldspatos potássicos, a biotita, a muscovita e ilita.

O potássio encontra-se no solo sob as formas de potássio solúvel, potássio adsorvido e potássio estrutural.

Entre essas formas existe um equilíbrio dinâmico, ou seja, a medida que o K-solúvel está sendo liberado para as plantas, está havendo uma renovação do seu teor pelas outras formas.

Além do K-solúvel, o K-adsorvido pode ser diretamente assimilável pela planta pelo mecanismo de troca.

O teor de K na solução do solo varia de 2 a 6 ppm, (BLACK 1968), sendo assim bem menor do que o de nitrogênio, porém maior do que o de fósforo. Conclui-se portanto, que o potássio já tem uma certa mobilidade no solo e que em certas ocasiões ele pode ser perdido por lixiviação.

Os teores de potássio que as análises do solo oferecem, referem-se ao K-solúvel mais K-adsorvido.

## INFLUÊNCIA DO N, P e K NO DESENVOLVIMENTO VEGETAL

**Nitrogênio** - Dos três elementos geralmente incluídos nos fertilizantes comerciais, o nitrogênio é o que parece exercer efeitos mais rápidos e pronunciados. Sua principal função é promover o crescimento vegetativo, bem como, conferir às folhas a coloração verde escura. Em cereais ele provoca aumento no tamanho dos grãos e percentagem de proteína. Garante em parte a suculência das folhas nas culturas como alface, rabanete, couve, chicória, etc.

**Fósforo** - Segundo em ordem de importância, nenhum outro elemento, depois do nitrogênio, faz tamanha falta ao crescimento dos vegetais como o fósforo. Ele exerce influência não só no crescimento como também na absorção de outros nutrientes, como é o caso do nitrogênio, zinco, ferro e molibdenio. De uma maneira geral o fósforo contribui da seguinte maneira:

- Componente ativo das moléculas de proteína e precursor de várias enzimas;
- Divisão das células e formação de carboidratos;
- Floração e frutificação, inclusive formação de sementes;
- Maturação das culturas, neutralizando desta maneira os efeitos das aplicações excessivas de nitrogênio;
- Desenvolvimento de um sistema radicular vigoroso
- Fortalecimento da folha nas culturas de cereais, o que ajuda a evitar o acomodamento.
- Melhora a qualidade das forrageiras e legumes
- Resistência à certas doenças

**Potássio** - Absorvido pelas plantas na forma de  $K^+$ , o potássio é usualmente o cationico mais abudante nas células vegetais. Seus efeitos na

planta, são ainda muito discutidos, principalmente no que se refere à sua participação em metabólitos essenciais. Sabe-se que 30% do potássio absorvido pela planta, estão adsorvidos às proteínas protoplasmáticas e os outros 70% acham-se dissolvido no suco celular, daí, ser o elemento em questão, facilmente eliminado pelas raízes ou pelas folhas, sob a forma de excreção cuticular; a água da chuva, ou a de irrigação por aspersão. É considerado um nutriente indispensável à formação e ao amadurecimento dos frutos, aumenta a rigidez dos tecidos, conferindo por conseguinte resistência das plantas às pragas, doenças e aos "stress" hídricos.

#### Principais sintomas de deficiência

##### 1 - Sintomas localizados inicialmente em órgãos mais velhos

- Nitrogênio - Clorose uniforme da lâmina
- Fósforo - Coloração verde-azulada, tonalidades roxas na lâmina foliar.
- Potássio - Clorose e necrose da margem e da planta
- Magnésio - Clorose internerval

##### 2 - Sintomas localizados inicialmente em órgãos mais novos.

- Cálcio - Clorose internerval, morte da gema apical
- Enxofre - Clorose uniforme da lâmina
- Boro - Morte da gema apical
- Cloro - Murchamento e bronzeamento da lâmina
- Sobre - Clorose ou coloração verde azulada e enrolamento da lâmina para cima.
- Ferro - Clorose e reticulado fino das nervuras
- Manganês - Clorose e reticulado grosso das nervuras
- Molibdênio - Clorose internerval e enrolamento da folha para cima e para baixo
- Zinco - Encurtamento dos internódios.

## A AQUISIÇÃO DE NITROGÊNIO

### 1 - INFLUÊNCIA DO NITROGÊNIO NO DESENVOLVIMENTO VEGETAL.

Dos três elementos geralmente incluídos nos fertilizantes comerciais, o nitrogênio é o que parece exercer efeitos mais rápidos e pronunciados. Sua ação consiste em estimular o crescimento vegetativo, aumenta o peso seco dos grãos bem como sua percentagem de proteína, controlador da utilização de potássio, do fósforo e de outros nutrientes utilizados pelas plantas. O seu emprego, tende a tornar suculentas certas culturas, característica esta, particularmente desejável na alface, rabanete, couve e chicória.

Um sintoma precoce e dramático da deficiência do nutriente é um amarelecimento geral das folhas ou clorose devido a inibição da síntese de clorofila, podendo em deficiências severas, prejudicar o desenvolvimento da planta e reduzir o reizame. Por outro lado, a aplicação excessiva, provoca via de regra alterações nas plantas:

- Atrazo na maturação, por prolongar o ciclo vegetativo da planta;
- Enfraquecimento do pedúnculo, estimulando o acamamento dos cereais;
- Aumenta a suscetibilidade às doenças;
- Torna as plantas mais sensíveis à "stress" hídrica.

### 2 - FIXAÇÃO DO NITROGÊNIO.

Quantitativamente, a fixação pelo sistema simbótico leguminosa - Rhizobium é a mais importante. Existem cerca de setecentos gêneros com catorze mil espécies de plantas da família Leguminosae acham-se em parceria com Rhizobium em associações fixadoras de nitrogênio. Nos Estados Unidos da América do Norte são fixados cerca de 5,5 milhões de toneladas de nitrogênio pelas leguminosas. Esta quantidade, praticamente se equivale à quantidade do elemento aplicado como fertilizante.

Na sequência de importância de fixação, depois das leguminosas, estão as não-leguminosas formadoras de nódulos radiculares. As bactérias responsáveis

por esta associação, pertencem à família Frankiaceae, da ordem de bactérias Actinomycetales.

Existem atualmente, cerca de 13 gêneros com um total de 100 espécies das não leguminosas fixadoras de nitrogênio. Todas as angiospermas não leguminosas formadoras de nódulos radiculares são plantas lenhosas que, diferentemente das leguminosas, não são usadas na agricultura. Entretanto, desempenham papel importante na economia de nitrogênio em terras não cultivadas inclusive nas cobertas por florestas.

Certos arbustos e árvores tropicais não leguminosas tem nódulos foliares habitados por bactérias nidiófilas que fixam nitrogênio. As superfícies úmidas das folhas em muitas plantas de florestas tropicais úmidas, formam um habitat próprio para o desenvolvimento de microorganismos e, entre eles, as bactérias fixadoras de nitrogênio e é provável que o hospedeiro (plantas) utilize parte do elemento fixado.

Existem ainda, outros sistemas biológicos fixadores de nitrogênio, como é o caso das algas azuis-verdes, pertencentes à ordem Cynophyta; plantas superiores que formam associações simbióticas nos nódulos radiculares com as algas azuis-verdes fixadoras de nitrogênio, principalmente árvores tropicais pertencentes à ordem Cycadales; bem como microorganismos livres fixadores do nitrogênio, como é o caso de alguns fungos, leveduras, actnomicetos e bactérias, tais como: Azotobacter vinelandii, Beijerinckia indica, Aerobacter aerogenes, Clostridium pasteurianum e Rhodospirillum rubrum.

### 3 - A FISIOLOGIA DA FORMAÇÃO DOS NÓDULOS RADICULARES.

A associação leguminosa - Rhizobium, por ser a mais importante no anuário agrícola, é a que apresenta uma quantidade maior de informações.

A formação de nódulos eficientes na fixação do nitrogênio, está sujeita a influências tanto internas como externas ao sistema radicular. Pesquisas têm mostrado que existe um componente genético governando a compatibilidade entre a espécie de Rhizobium e o hospedeiro. A incompatibilidade, pode resultar na

impossibilidade da nodulação, de formação de nódulos, ou no desenvolvimento de nódulos pouco eficientes na fixação.

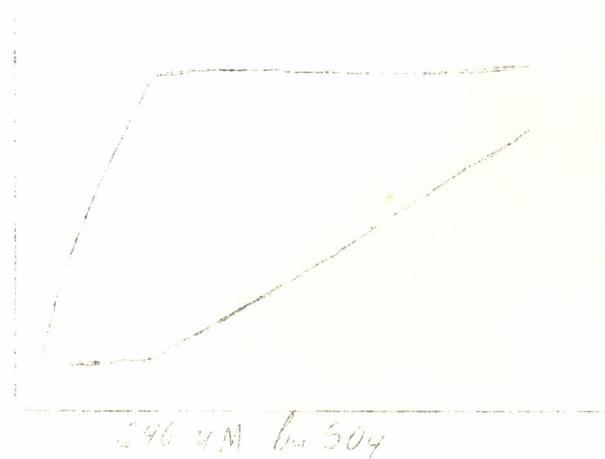
Desde que ocorra compatibilidade entre o hospedeiro e o simbiante, a sequência de eventos que ocorre, é:

- 1 - Desenvolvimento de pelos radiculares
- 2 - Desenvolvimento de uma população de Rhizobium próximo à rizosfera
- 3 - Encurvamento dos pelos radiculares e sua infecção pelas bactérias
- 4 - Desenvolvimento de filamentos de infecção
- 5 - Formação de nódulos

Sabe-se que os fatores químicos que influenciam a nodulação provêm dos cotiledones, folhas, primórdios de raízes laterais e outros nódulos, entretanto os produtos liberados por estes órgãos e seu mecanismo de ação são ainda pouco conhecidos.

Os fatores externos, inclusive a nutrição mineral, que influenciam a nodulação, são bem mais conhecidos que os endógenos. Os mais importantes são a alta exigência de Cálcio, o pH, etc. O processo de infecção ou início da formação do nódulo, requer uma quantidade de cálcio muito maior que para o subsequente desenvolvimento do mesmo ou para o desenvolvimento do hospedeiro.

A Figura 1, ilustra melhor o efeito do cálcio sobre a nodulação e o desenvolvimento do hospedeiro.



Outro fator que exerce grande influência sobre a nodulação é o pH. Em pH baixo, não ocorre encurvamento dos pelos radiculares, condição esta imprescindível na infecção. Entretanto, se o pH é mais alto, ocorre o encurvamento e ocorre a infecção. Após o encurvamento o pH pode abaixar, sem provocar efeito na infecção subsequente e no desenvolvimento normal dos nódulos.

### Resultados de Experimentos de Adubação

O feijão é uma das culturas mais cultivadas na região Nordeste, e apresentar-se como a principal fonte de proteína para grande parte da população.

No Estado da Bahia, que é um dos principais produtores da região, a cultura vem apresentando um decréscimo na produtividade (Quadro 1). Um dos fatores limitantes da produção agrícola é a deficiência dos solos cultivados devido ao baixo teor natural de fertilidade, ou devido ao uso intensivo da terra que provoca o empobrecimento gradativo cultivo após cultivo.

Quadro 1. Produção de feijão no Estado da Bahia no período de 1973 a 1977.

Ano	Área Colhida (ha)	Quantidade Produzida (t)	Renda Média (kg/ha)
1973	321.401	243.169	757
1974	327.802	211.083	643
1975	335.000	193.800	578
1976	252.300	73.221	290
1977	314.000	116.240	370

Fonte: I.B.G.E.

Para corrigir os solos pobres em nutrientes necessários para o suprimento das plantas são usados fertilizantes, que são aplicados no solo em fórmulas de adubação. As recomendações para a adubação do solo são obtidas através de resultados de análises químicas do solo e informações de pesquisas. As recomendações variam de uma cultura para outra.

Através de curvas de crescimento e de absorção de nutrientes pelas plantas durante o ciclo vegetativo obtém-se informações sobre a quantidade de nutrientes essenciais para o bom desenvolvimento da cultura. O nitrogênio é o elemento nutritivo exigido em maior quantidade pelo feijoeiro seguido por potássio, cálcio, magnésio, enxofre e fósforo (Quadro 2.).

Quadro 2. Quantidade de macronutrientes exigidos pelo feijoeiro.

Elemento	Planta Inteira (kg/ha)	1000 kg de grãos (kg/ha)
Nitrogênio (N)	201	28
Fósforo (P)	35	3
Potássio (K)	200	20
Cálcio (Ca)	116	4
Magnésio (Mg)	36	2
Enxofre (S)	36	5

De acordo com resultados de pesquisa desenvolvidos na região Nordeste os nutrientes que são mais deficientes nos solos da região são, nitrogênio e fósforo. Resultados de pesquisas desenvolvidas pela Secretaria da Agricultura da Bahia, com 9 ensaios sobre o efeito da adubação NPK na produtividade do feijão, nos municípios de Irecê, Presidente Dutra, Tucano, Euclides da Cunha, Nova Soure e Ribeira do Pombal, demonstram que o nitrogênio aumentou a produtividade do feijoeiro em apenas uma localidade, enquanto que o aumento devido ao fósforo ocorreu em cito das nove localidades (Quadro 3 e 4). Não houve resposta para o potássio.

Quadro 3. Características químicas dos solos das áreas experimentais.

Local	pH	ppm		mE/100g de solo	
		P	K	Ca + Mg	Al
1º Ensaio - Irecê	6,5	4	249	9,3	0,0
2º " - Tucano	6,4	7	195	2,9	0,0
3º " - R. do Pombal	5,6	3	146	1,6	0,2
4º " - Irecê	6,4	5	249	9,4	0,0
5º " - P. Dutra	6,9	20	249	14,8	0,0
6º " - Nova Soure	6,1	10	249	4,9	0,0
7º " - E. da Cunha *	7,8	95	249	9,2	0,0
8º " - Nova Soure	6,3	10	249	130,0	0,0
9º " - Tucano	6,0	5	233	2,5	0,0

\* Amostragem do solo não foi representativo para área experimental.

Quadro 4. Produção de feijão, em kg/ha, obtida em nove ensaios no Estado da Bahia

Níveis de NPK	1º ensaio Irecê	2º ensaio Tucano	3º ensaio R. do Pombal	4º ensaio Irecê	5º ensaio F. Dutra	6º ensaio Nova Soure	7º ensaio E. da Cunha	8º ensaio Nova Soure	9º ensaio Tucano
$N_0$	604	896	698	560	206	2.234	1.716	827	1.735
$N_1$	651	295	766	718	331	2.433	1.729	944	1.782
$N_2$	700	837	765	724	265	2.287	1.647	950	1.861
$P_0$	357	669	402	403	159	1.745	1.325	725	1.214
$P_1$	645	987	918	770	314	2.529	1.901	1.046	2.019
$P_2$	955	1.000	909	828	329	2.680	1.865	950	2.146

$N_0 + N_1 + N_2$  igual a 0,30 e 60 kg N/ha respectivamente

$P_0 + P_1 + P_2$  igual a 0,60 e 180 kg de  $P_2O_5$ /ha respectivamente.

Em trabalho realizado pelo CPATSA em Filadélfia, município de Pindobaçu-Ba., em um latossolo Vermelho-amarelo (Quadro 5), sobre o efeito do nitrogênio, fósforo e potássio na produtividade do feijão consorciado com milho obteve-se resposta altamente significativa à aplicação de fósforo, enquanto que as aplicações de nitrogênio e potássio causaram um decréscimo em relação à testemunha. As interações com fósforo mostraram as maiores produtividades (Quadro 6).

Quadro 5. Características químicas do solo da área experimental de Filadélfia.

pH H <sub>2</sub> O	mE/100 g solo					ppm P
	Ca	Mg	Na	K	Al	
6,4	2,0	1,6	0,04	0,37	0,05	2,88

Quadro 6. Produção de feijão em consórcio com milho sob o efeito de nitrogênio, fósforo e potássio.

N	Tratamento		Produção (Kg/ha)
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
0	0	0	1.073
60	0	0	945
0	60	0	1.277**
0	0	30	886
60	60	0	1.225
60	0	30	1.085
0	60	30	1.328
60	60	30	1.390

\*\* Significante ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de F.

### BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALVIM, P. de T. Desafio agrícola da região Amazônica. Ciência e Cultura, 24, (5): 437 - 43. 1972.

BLACK, C. A. Soil plant relationships. c 1968 792 p.

BRASIL. SUDENE. Adubação NPK em três níveis. In: Contribuição ao estudo das plantas alimentares - Estado da Bahia. Convênio SUDENE/IPEAL. Recife, 1967. p. 83-87; 157-61; 202-5. (Brasil. SUDENE. Culturas Alimentares - Estado da Bahia).

BUCKMAN, H. D. & BRADY, N. C., Natureza e propriedades dos solos. 1974. 594 p.

CARVALHO, B. C. L. de; MENDES, J. E. S.; GOMES, J. C.; SANTOS, D. P.; NUNES, J. A. C.; FRANCO, C. B. e LEITE, J. M.; Adubação mineral do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) no estado da Bahia. - Efeito de N, P, K, S e uma mistura de micronutrientes (B, Zn, Cu, e Mo) nas regiões de Irecê e Tucano. In: Bahia. SECRETARIA DE AGRICULTURA. Projeto Feijão. Salvador, 1974. p. 119 - 40.

EMCERBA. Resultados dos ensaios de adubação de feijão no Nordeste da Bahia. Salvador. 1975. 8 p. Mimeografado.

EPSTEIN, E. Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas, 1975. 344 p.

GALLO, J. R. e MIYASAKA, S. Composição química do feijoeiro e absorção de elementos nutritivos do florescimento à maturação. 1961. Bragantina. 20:867 - 84.

HAG, H. P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, H. e BLANCO, H.G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro, 1967. Bragantia. 26: 381-91.

INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS, Recife. Cultura do feijão; adubação mineral. In: Relatório Anual 1966. Recife, 1966. p. 97-116.

KORNELIUS, E.; SOBRAL, L. P.; GOMES, J. C. e RODRIGUES, E. M. Efeitos de doses de nitrogênio e fósforo na produção de feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 15, Campinas, 1975, Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1976. p. 203-5.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola. Adubos e adubação. 1967. 606 p.

MONIZ, A. C. Composição química e estrutura dos minerais de argila. In: Moniz, A. C. Elementos de pedologia. 1972. p. 29-44.

WUTKE, A. C. P. Acidez. In: MONIZ, A.C. Elementos de pedologia. 1972. p. 149 - 68.

WUTKE, A. C. P. & CAMARGO, E. O. A. DE. Adsorção e troca iônica. In: MONIZ, A. C. Elementos de pedologia. 1972. p. 125-47.