

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA	-	MARA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA	-	EMBRAPA
CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIO DO TRÓPICO SEMI ÁRIDO	-	CPATSA
COORDENADORIA DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA AGROPECUÁRIA	-	CTTA
SETOR DE TREINAMENTO	-	ST

FERTILIDADE DO SOLO E ADUBAÇÃO NO SEMI ÁRIDO DO NORDESTE

Clementino M. Batista Faria

Fertilidade do solo e adubação
FL - 14235



PETROLINA - PE



FERTILIDADE DO SOLO E ADUBAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE

Clementino Marcos Batista de Faria¹

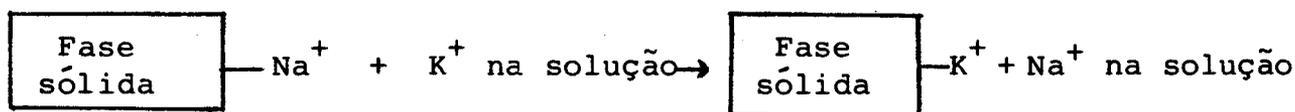
SOLO

O solo contribui com 5% para a composição 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 da composição da planta e são fornecidos pela atmosfera e pela água (Alvim, 1972). Embora o solo participe apenas com esta pequena percentagem, é uma quantidade sem a qual a planta não pode sobreviver e, entre os outros meios fornecedores de nutrientes, atmosfera e água, o solo é o que se torna mais fácil para o homem interferir, de modo a propiciar melhores condições para o desenvolvimento das culturas.

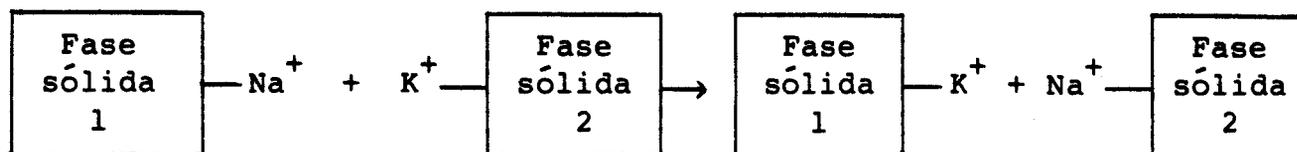
O solo é constituído pelas fases sólida, líquida e gasosa. A fase sólida é formada por material mineral e orgânico. A proporção de cada um desses componentes varia de solo para solo. Segundo Buckman e Brady (1974), um solo ideal para o desenvolvimento das plantas seria aquele que apresentasse 45% da parte mineral, 5% da parte orgânica, 25% da parte gasosa e 25% da parte líquida. A parte mineral é constituída de partículas unitárias de tamanhos variáveis, originadas do intemperismo das rochas. Na fração mais fina do solo, o complexo coloidal, formado pela mistura da argila e matéria orgânica, é onde se processam as reações de maior importância para a nutrição mineral das plantas.

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 estejam estes em solução numa fase líquida, quer estejam ligados a outra fase sólida, em contado com a primeira" (WUTKE & CAMARGO, 1975).



¹Eng^o Agr^o, M.Sc., Especialista em Fertilidade de Solo, Pesquisador da EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA) Caixa Postal 23, 56300 - Petrolina, PE.



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 Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , K^+ , Na^+ e NH_4^+ e os ânions SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} e HCO_3^- . Estes íons encontram-se na fase líquida do solo ou adsorvidos na superfície da fase sólida.

A capacidade de troca de cátions de um solo é denominada por CTC que pode ser avaliada nas análises químicas do solo, sendo seus valores expressos em meq/100ml. A CTC depende do teor e qualidade da argila e da matéria orgânica do solo. Os solos argilosos possuem uma CTC maior do que os solos arenosos. Se a argila predominante de um solo é do tipo 2:1, como a montmorilonita, sua CTC é maior do que um solo onde predomina a argila do tipo 1:1, como a caulinita. Solos ricos em matéria orgânica tem condições de possuir uma CTC maior do que solos pobres neste composto.

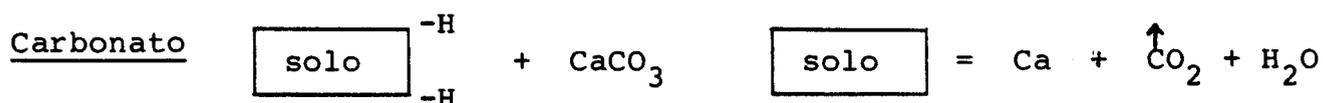
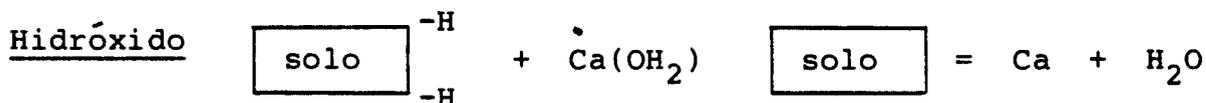
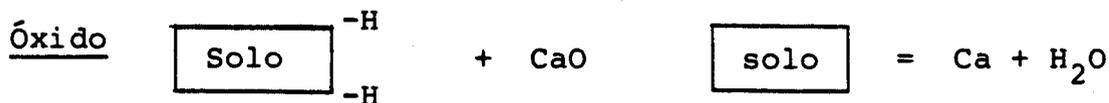
ACIDEZ DO SOLO

O solo comporta-se como um ácido fraco que em soluções dissocia-se o hidrogênio (H). Entretanto a concentração dos íons de H dissociados na solução do solo é tão baixa que seria muito difícil fazer uma avaliação de quantos íons de H tem dissociados. Por essa razão, que essa avaliação é feita de maneira indireta, através da leitura do pH de uma suspensão do solo refletindo a noção de acidez iônica ou acidez ativa. O outro tipo de acidez, é a acidez potencial, de reserva ou trocável, que é representada pela quantidade de íons de hidrogênio, H^+ , e de alumínio, Al^{3+} , adsorvidos na superfície da fase sólida do solo e que pode ser determinada diretamente nas análises químicas do solo, cujos valores são expressos em meq/100ml. A concentração de íons de H^+ na solução está em equilíbrio dinâmico com os íons H^+ adsorvidos.

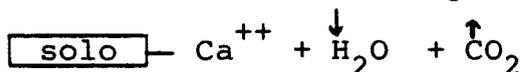
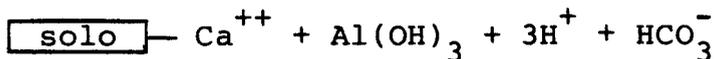
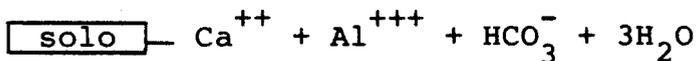
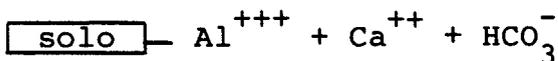
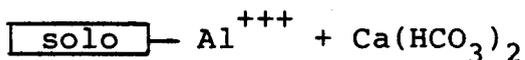
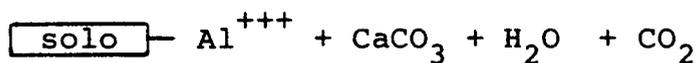
CORREÇÃO DA ACIDEZ

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:



Carbonato de cálcio reagindo com alumínio trocável



Recomendação de calagem - Vários são os métodos usados para saber a quantidade de calcário a ser aplicado ao solo. Um dos mais comuns é o seguinte:

$$\text{NC} = 2 - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) + 2 \times \text{Al}^3 + f$$

onde: NC = necessidade de calcário em t/ha

Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} = fornecidos pela análise do solo

f = 100/PRNT,

PRNT = Poder Relativo de Neutralização Total do calcário.

Fertilidade do solo, conceitos

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

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

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

A fertilidade do solo pode ser avaliada por meios biológicos, através de experimentos de adubação em casas de vegetação ou em condições de campo ou por métodos químicos, através da análise de solo. Entretanto para que a análise de solo seja representativa da área a ser cultivada, é necessário fazer uma amostragem de solo muito bem feita, procedendo-se da seguinte forma:

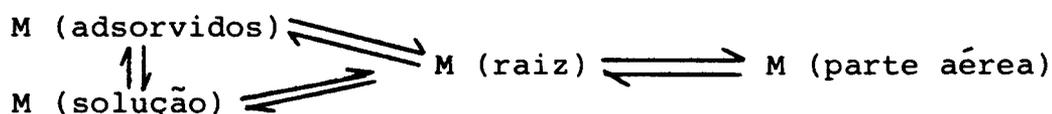
Separar os solos por: a) Cores diferentes; b) Textura (argilosos e arenosos); c) Topografia (baixada, plano, encosta, topo); d) Uso (virgem ou cultivado, adubado ou não adubado). Para cada solo diferente, retirar uma amostra composta como se descreve a seguir:

Coletar, no mínimo, 15 amostras simples em vários pontos do terreno, a uma profundidade de 0-20cm, colocando a terra numa vasilha limpa. Em seguida misturar bem toda a terra coletada e, da mistura, retirar uma amostra composta com aproximadamente meio quilo de solo e colocá-la num saco plástico limpo ou numa caixinha de papelão. Identificá-la e remetê-la para o laboratório cerca de três meses antes do plantio. É aconselhável repetir a amostragem para a análise de solo uma vez a cada três anos.

Não coletar amostras em locais de formigueiro, de monturo, de coivara ou próximos a curral. Antes da coleta, limpar a superfície do terreno, caso tenha mato ou resto vegetal. A amostragem é facilitada quando o solo está um pouco úmido.

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 íon 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 cátions, 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_3^{3-} , são bastante móveis porque a maior parte encontra-se na fase líquida do solo. O fósforo apesar de comportar como ânion, H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , constitui 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 cátions 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 diminuir 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 do 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 é mais facilmente alterado nos solos arenosos e/ou pobres em matéria orgânica do que nos solos argilosos e/ou ricos em matéria orgânica.

Lei do mínimo - "O rendimento de uma colheita é limitado pela ausência de qualquer um dos nutrientes essenciais mesmo que todos os demais estejam disponíveis em quantidades adequadas".

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 amonificantes atacam os aminoácidos, os quais liberam os grupos aminos 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 disponível para as plantas.

Essas formas, NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^- , além de poderem ser absorvidas pelas plantas podem tomar outros destinos:

Do 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 NO_2^- e a NO_3^- (oxidação)
5. Ser perdido para atmosfera em forma de amônia (NH_3)

Do 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 NO_3^- para formas gasosas, óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO_2) e nitrogênio elementar (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 (NO_3^-) que contribui com a maior parte (BLACK, 1968). A concentração do nitrato na solução do solo pode chegar a valores bastante alto, 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 é o fosfato de alumínio e a strengita 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 adsorvido.

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 - Seguindo 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 molibdênio. De uma maneira geral o fósforo contribui da seguinte maneira:

- Componente ativo das moléculas de proteína e precursor de várias enzimas;
- Divisão das moléculas 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 acamamento;
- Melhora a qualidade das forrageiras e legumes;
- Resistência à certas doenças.

Potássio - Absorvido pelas plantas na forma de K^+ , o potássio é usualmente o catiônico mais abundante 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% de 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 pela água da chuva ou 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.

IMPORTÂNCIA DA ADUBAÇÃO

Agricultura de sequeiro - O emprego de fertilizantes na agricultura de sequeiro da região semi-árida do Nordeste brasileiro, é uma das práticas culturais que quando usada racionalmente, proporciona aumentos significativos na produtividade das culturas, ao tempo em que aumenta e conserva a fertilidade dos solos. Faria et alii (1981) verificaram que a adubação provocou incrementos de 37 a 1137% na produtividade do milho em 57 experimentos realizados em vários locais da região. Sá Júnior et alii (1974) analisaram vários experimentos conduzidos com diversas culturas nos estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará que mostraram incrementos médios de 88,9 a 345,7% na produtividade, decorrentes da adubação (Tabela 1).

As respostas das culturas à adubação, são atribuídas às deficiências de nitrogênio e fósforo nos solos da região. A deficiência em nitrogênio é causada pelo próprio clima que sendo semi-árido, não permite a formação de quantidades adequadas de matéria orgânica no solo que é a fonte principal do nitrogênio no solo. A deficiência de fósforo é decorrente da origem e formação dos solos.

Dantas & Gomes (1977) constataram, através de análises químicas de solo, que os solos do Agreste de Pernambuco, são pobres apenas em carbono orgânico, nitrogênio e fósforo, Faria et alii (1981) concluíram

que a resposta do milho à adubação mineral na maioria dos 57 experimentos realizados em vários locais do Nordeste, foi devido à aplicação de nitrogênio e fósforo, e não a de outros elementos, como o potássio, cálcio, magnésio e micronutrientes usados também em alguns dos ensaios.

Considerando os riscos de perda de produção agrícola pela falta e irregularidade de chuvas da região e a grande probabilidade de perdas de nitrogênio no solo por lixiviação e volatilização, torna-se muito temeroso fazer adubação nitrogenada para agricultura de sequeiro da região. No caso do fósforo, cuja probabilidade de perdas no solo é mínima e que tem um efeito residual significativo na produtividade das culturas por vários anos, torna-se viável fazer adubação fosfatada baseada na análise de solo, como se recomenda na Tabela 2, a fim de que se consiga aumentar e conservar a capacidade produtiva dos solos.

Agricultura irrigada - Na agricultura irrigada, pelo fato de se usar um nível de tecnologia bem mais elevado, cultivar o solo com mais intensidade (três ciclos de cultura por ano) e não ter o risco de perda da produção por falta de chuvas, quando comparado com a agricultura de sequeiro, recomenda-se fazer uma adubação mais completa como se indica na Tabela 3. Além da adubação mineral, é aconselhável usar adubação orgânica na proporção de 20 a 40 m³/ha de esterco de curral, que vai promover melhores condições químicas, físicas e biológicas do solo.

TABELA 1. Incremento médio na produtividade de algumas culturas, provocado pelo emprego da adubação em vários locais do Nordeste brasileiro.

Cultura	Número de experimentos	Incremento médio na produção (%)	Desvio padrão da média
Algodão Mocó - 1º ano	46	97,84	16,57
Algodão Mocó - 2º ano	44	89,87	19,36
Algodão Herbáceo	44	89,20	19,04
Amendoim	25	345,70	75,97
Arroz	22	114,95	39,19
Feijão	33	138,96	39,33
Milho	56	186,47	41,36
Mandioca	13	88,88	67,14

Fonte: SÁ JÚNIOR et alii (1974).

TABELA 2. Adubação fosfatada conforme a análise de solo para as principais culturas de sequeiro do semi-árido (adaptada pelo autor)

Culturas	P no solo por Mehlich - ppm		
	0 - 4	5 - 9	10 - 15
	-----kg/ha de P ₂ O ₅ -----		
Arroz	60	40	20
Milho	80	60	30
Feijão	80	60	30
Caupi	60	40	20
Algodão Mocó ¹	60	40	20
Algodão Herbáceo	90	60	30
Mandioca	60	40	20
Mamona	80	60	40
Capineira ²	60	40	20

¹Adubar apenas uma vez, no plantio

²Adubar no plantio e, depois, uma vez a cada dois anos.

TABELA 3. Adubação para algumas culturas irrigadas conforme a análise do solo (adaptada pelo autor)

Culturas	Fósforo (kg/ha de P ₂ O ₅)				Potássio (kg/ha de K ₂ O)			Nitrogênio (Kg/ha de N)	
	P no solo (ppm)				K no solo (meq/100ml)			Fundação	Cobertura ¹
	0 - 5	6-10	11-20	21-40	0-0,10	0,11-0,20	0,21-0,40		
Tomate ²	160	120	80	40	120	80	40	40	50
Cebola	160	120	80	40	120	80	40	40	80
Melão	160	120	80	40	120	80	40	30	60
Melancia	120	90	60	30	90	60	30	20	60
Pimentão	160	120	80	40	120	80	40	30	90
Milho	80	60	40	20	60	40	20	30	60
Feijão	80	60	40	20	60	40	20	30	-
Arroz	80	60	40	20	60	40	20	20	30

1 - Para o pimentão, parcelar a dose em três aplicações. Para as outras culturas, fazer apenas uma aplicação.

2 - Tomate industrial.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- 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.
- BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. Natureza e propriedades dos solos. 1974. 594 p.
- DANTAS, H. da S., GOMES, J.F. Levantamento da fertilidade em solos do Agreste de Pernambuco. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 12:49-70, 1977.
- EPSTEIN, E. Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas, 1975. 344 p.
- FARIA, C.M.B. de; MELO, J.N.; SA, V.A. de L.; TIMOTEO SOBRINHO, A. SANTOS, M.A.C. dos. Influência de diferentes adubações sobre a produção de milho no Nordeste e obtenção de informações para calibração de análise de solo. Petrolina-PE, EMBRAPA-CPATSA, 1981. 32p. (EMBRAPA-CPATSA, Boletim de Pesquisa, 8).
- SÁ JÚNIOR, J.P.M.; ARAÚJO, S.M.C. de; ALMEIDA, L.M. de; VASCONCELOS, A.L. de. Adaptação e sugestões de adubação com base no método de Ca te-Vettori, a resultados de experimentos de campo realizados no Nordeste do Brasil. Pesquisa Agropecuária do Nordeste, 6(1):125 - 140, 1974.
- 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.