

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Composição volumétrica média da camada arável do solo.....	8
FIGURA 2. Disponibilidade de fósforo de acordo com o pH.....	18
FIGURA 3. Etapas para a realização de uma análise de solo.....	28
FIGURA 4. Plano de amostragem de uma gleba com diferentes declives e usos do solo.....	29
FIGURA 5. Procedimento de amostragem de solo utilizando –se diferentes equipamentos.....	32
FIGURA 6. Estratificação dos resultados obtidos para análises de fósforo.....	44
FIGURA 7. Estratificação dos resultados obtidos para análises de potássio .....	46
FIGURA 8. Estratificação dos resultados obtidos para análises de cobre.....	48
FIGURA 9. Estratificação dos resultados obtidos para análises de zinco .....	49

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Nutrientes minerais.....	14
TABELA 2. Quantidade de amostra de acordo com o tamanho da área.....	30
TABELA 3. Concentração da solução de fósforo em função do volume da alíquota da solução estoque 103 ppm.....	36
TABELA 4. Concentração da solução de potássio em função do volume da alíquota da solução estoque 391 ppm.....	39
TABELA 5. Concentração da solução de cobre em função do volume da alíquota da solução estoque 10 ppm.....	42
TABELA 6. Concentração da solução de zinco em função do volume da alíquota da solução estoque 10 ppm.....	42

## 1. INTRODUÇÃO

A Pedologia e a Edafologia são ramos da ciência que têm como objetivo o estudo do solo. A primeira é a ciência básica que estuda a origem e a composição do mesmo, através desse estudo obtemos elementos para indicar quais as culturas apropriadas para um determinado tipo de solo. A segunda é uma ciência aplicada que estuda o solo com objetivo de melhorar a produção das plantas cultivadas. O Edafólogo necessita dos conhecimentos do Pedólogo para solucionar problemas relacionados com a produtividade do solo, esses conhecimentos ajudam o Edafólogo a entender as variações de produtividade da terra, como conserva-lá e melhorar sua produtividade.

O solo é um corpo de material inconsolidado, que recobre a superfície terrestre, constituído por diversos tipos de minerais, húmus, gases e água em proporções variadas. Produto do intemperismo sobre uma rocha matriz pode-se considerá-lo como um sistema complexo e dinâmico cujas transformações se desenvolvem em função do bioma, relevo e clima. Consideramos o solo como um sistema complexo por ser formado por uma fase sólida (mineral e/ou orgânica), uma fase líquida e outra gasosa. A fase sólida é constituída por minerais provenientes da rocha matriz pelo intemperismo, e pela matéria orgânica, que se encontra constantemente em processo de mineralização e humificação. A matéria orgânica se apresenta em quantidades variadas, podendo apresentar valores tão baixos quanto 0,5% do volume total em solos desérticos, até teores de 95% em solos turfosos. A quantidade de matéria orgânica decresce à medida que nos aprofundamos nos horizontes subsuperficiais.

A fase líquida, também chamada de solução solo, é encontrada nos espaços vazios (poros) da fase sólida, representa entre 15 e 35% do volume total do solo. A solução solo tem uma grande importância nos solos agrícolas, pois nela encontram-se os nutrientes na forma iônica ou complexada, disponíveis para o uso das plantas.

A fase gasosa (ar do solo), assim como a solução do solo, encontra-se nos poros da fase sólida, logo, ocorre uma disputa pelo mesmo espaço entre o ar e a água dentro do sistema solo.

O ar do solo se assemelha ao ar atmosférico, pois provém deste. Porém, no solo, sofre alterações na sua composição, devido ao sistema parcialmente fechado que se encontra nos poros, e a atividade dos microorganismos e raízes que consomem  $O_{2(g)}$  e liberam  $CO_{2(g)}$ . As concentrações de  $CO_{2(g)}$  são superiores à do ar atmosférico e, em casos de solos com pouca aeração, ultrapassa a concentração de  $O_{2(g)}$ .

Embora a composição do solo possa variar em função das características da sua formação, em termos de volume pode-se dizer que um solo é formado de 20-30% de água, 20-30% de ar, 45% de minerais e 5% de matéria orgânica, conforme representado na Figura 1.

O solo também é considerado um sistema dinâmico, pois é formado por teores complementares de água e ar que competem pelos espaços vazios. No solo também estão sempre ocorrendo vários tipos de processos como reações químicas, fenômenos físicos e atividade biológica.

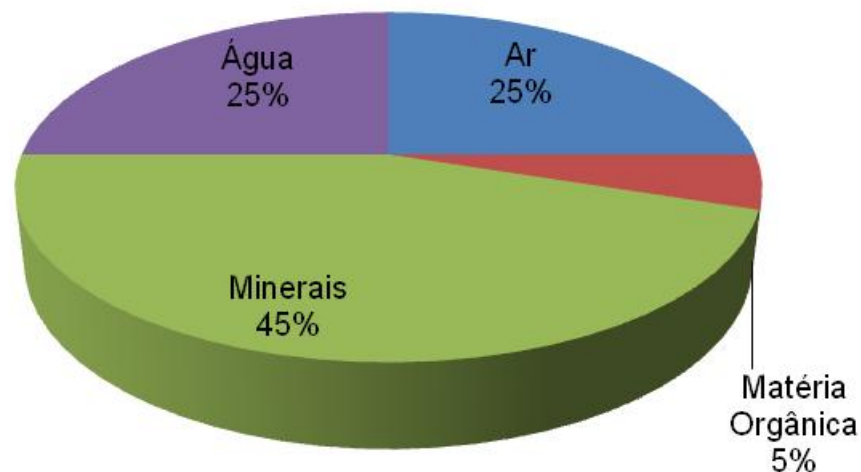


Figura 1 – Composição volumétrica média da camada arável de um solo  
(Luchese, 2001)

## 1.1 Pedogênese

Pedogênese é o processo físico-químico de alteração da rocha matriz em função do tempo, inclusive das transformações posteriores sofridas pelos minerais primários e secundários. O solo possui características herdadas e adquiridas, cujas relações quantitativas variam com o tempo. Eles nunca estão estáticos, mas em constante desenvolvimento graças a diversos processos. A maior ou menor intensidade de algum fator pode ser determinante na composição de um solo. Os principais fatores que influenciam na composição do solo são clima, relevo, organismos e tempo.

O clima é o mais importante dos fatores, principalmente em países tropicais. Está relacionado às mudanças de temperaturas e umidade, que atuam no intemperismo físico das rochas e no controle de sedimentação em planícies. Relaciona-se, também, com a biomassa determinando os tipos de organismos que viverão sob o solo, ou com o relevo, implicando nos veios de águas superficiais ou freáticos.

O relevo influencia nos caminhos de drenagem da água e no clima, pode proteger ou expor o solo aos processos erosivos provocados por águas e ventos. Eventualmente, o relevo pode determinar microclimas, mais ou menos favoráveis à agricultura. Também observamos que, numa mesma vertente ou encosta (superfície onde corre as águas das chuvas), há diversos tipos de solos associados entre si por transportes internos da matéria, determinados pelo relevo na forma da inclinação da encosta.

Os organismos variam de tamanho desde microscópicos como bactérias, nematóides e fungos, até os visíveis a olho nu como as minhocas, larvas de insetos e formigas. Alguns destes causam reações favoráveis ao solo como decomposição dos resíduos das plantas e dos animais. Outros causam reações danosas, tais como o desenvolvimento de doenças em plantas, notadamente nas raízes.

O tempo é o mais abstrato dos fatores. Com o passar do tempo o solo busca camadas ganhando profundidade e maiores teores de argila. Porém, os solos raramente são vistos como maduros, pois a dinâmica da litosfera e da pedogênese, implicam em constante reciclagem de paisagens e materiais.

## 1.2 Composições do solo

Apesar da grande variabilidade, podemos definir quatro camadas principais na composição do solo. A primeira camada é camada fértil, rica em matéria de origem orgânica e húmus, nessa camada as plantas encontram água e sais minerais para seu desenvolvimento, logo é a melhor camada para o plantio. A segunda camada, praticamente sem matéria orgânica ou nutriente, contém três compostos principais: o calcário entre 7 a 10% do total. A argila entre 20 a 30% do total e silicatos (areia) entre 60 a 70% do total, que garante a permeabilidade da camada. A terceira camada é a das rochas parcialmente decompostas. Essas rochas podem virar sedimentos, assim que se decompuserem totalmente pela ação de agentes geológicos e pela erosão ocasionada por sulcos, valas profundas formadas a partir da superfície. A quarta camada é a da rocha matriz, ou seja, rochas intactas ou que estão começando a se decompor (Lepscher, 2002).

## 1.3 Tipos de solo

Solos Arenosos, conhecidos também como neossolos, são solos típicos de regiões tropicais formados principalmente por cristais de quartzo (cerca de 70%), óxido de ferro, argila e outros compostos em menor percentagem. A maioria dos grãos de quartzo apresentam tamanho compreendido entre 0,075 e 2 mm. É permeável e tem boa aeração, pois os grãos de areia propiciam mais espaço entre si, o que facilita a passagem de água. É um solo com várias limitações em relação a sua fertilidade, apresenta teores de matéria orgânica baixo, pH ácido e sofre com erosão em decorrência de suas características físicas.

Solos siltosos são solos com grandes quantidades de silte ou limo. Entende-se por silte todo e qualquer fragmento mineral menor que areia fina e maior do que

argila, que na escala de Wentworth, de amplo uso em geologia, corresponde a diâmetros entre 4 e 64  $\mu\text{m}$ . Ele não se agrega como a argila e suas partículas são leves e muito pequenas, este tipo de solo sofre muito com efeito da erosão.

Solos Argilosos são solos pouco permeáveis, logo, a água passa lentamente, ficando armazenada. Sua composição possui uma grande quantidade de ferro nas formas de goethita e hematita e óxidos de alumínio, principalmente gibbsita.

#### 1.4 Conceito e Importância da Fertilidade no Solo

A fertilidade do solo é a capacidade do solo em suprir nutrientes às plantas. Quando estudamos a fertilidade procuramos entender melhor cada nutriente, sua função, sua mobilidade e disponibilidade para as plantas. Ao avaliar o potencial de um solo empregamos os termos “Fertilidade Natural”, “Fertilidade Potencial” e “Fertilidade Atual” (Lepsch, 1983).

A Fertilidade Natural corresponde a fertilidade do solo quando ainda não sofreu nenhum manejo, não foi trabalhado. É muito usada na avaliação e classificação de solos onde não existe atividade agrária, oferecendo uma visão inicial da capacidade do solo para ceder nutrientes.

A Fertilidade Potencial evidencia a existência de algum elemento ou característica que impeça o solo de mostrar sua real capacidade em ceder nutrientes. Assim, persistindo essas condições limitantes, a capacidade de ceder elementos estará obstruída. Entre as características limitantes a mais notável é o caso de solos ácidos, onde o teor de  $\text{Al}^{3+}$  é elevado, e a disponibilidade de Ca, Mg e P é baixa ou insuficiente, o que poderia ser corrigido com a adição de calcário e/ou gesso.

A Fertilidade Atual é aquela apresentada pelo solo após as práticas de manejo aplicadas para satisfazer as necessidades das culturas. Deve ser interpretada considerando as correções realizadas, é caracterizada pela determinação das formas disponíveis dos nutrientes no solo.

Com a utilização destes conceitos e de uma avaliação adequada da capacidade do solo em suprir nutrientes às plantas pode-se, quando houver necessidade, fazer um correto manejo na fertilidade do solo, com o uso de práticas corretivas e adubação. Os solos férteis têm uma importância muito grande, pois em ambientes naturais, sem limitações de chuvas, eles sustentam ecossistemas com florestas exuberantes, ricas em fauna e flora. Enquanto a riqueza natural do solo for capaz de suprir as necessidades das plantas sem a utilização de fertilizantes, ele poderá ser usado na agricultura permitindo a obtenção de elevada produção de alimentos.

Os agricultores, na sua maioria, estão em busca constante por suprir as deficiências dos nutrientes no solo para obter uma melhor produtividade. Presume-se que cerca de 70% dos solos cultivados no Brasil apresentam uma ou mais limitações sérias da fertilidade (Sanchez, 1981). Porém, através da análise do solo e aplicação dos conhecimentos e técnicas adequadas, solos improdutivos podem torna-se férteis gerando elevada produtividade de alimentos.

Os avanços na agricultura como: manejo mais eficiente do solo, uso de variedades mais produtivas, irrigação, rotação de culturas etc., são tão importantes quanto à necessidade da aplicação do conhecimento em fertilidade do solo para a produção vegetal em áreas antes improdutivas. O correto manejo da fertilidade do solo é responsável por ganhos na produtividade, que em certos casos se situa acima de 50%. Os conhecimentos básicos sobre a fertilidade do solo como a análise química do solo, infelizmente, não fazem parte da rotina de muitos agricultores brasileiros sendo desprezada, às vezes, até mesmo por técnicos.

Para se obter uma agricultura moderna visando uma boa produtividade deve-se atentar para a necessidade do uso de corretivos e fertilizantes em quantidades adequadas, atendendo a critérios racionais, permitindo conciliar o resultado econômico positivo com a preservação dos recursos naturais do solo e do meio ambiente. Neste processo, não se pode ignorar as particularidades dos solos de diferentes locais, é preciso identificar as necessidades e os problemas em cada caso. O estudo da fertilidade do solo busca, através da aplicação de seus conhecimentos específicos, chegar às melhores soluções possíveis. O uso



inadequado de fertilizantes, tanto de origem mineral quanto orgânica, pode ocasionar um baixo retorno econômico, além de sérios problemas ao meio ambiente tais como contaminação de águas subterrâneas, eutrofização de rios e lagos e até mesmo a contaminação dos alimentos produzidos. Por isso, é preciso ressaltar a importância da aplicação dos conhecimentos de fertilidade do solo conciliando a atividade agrícola com a preservação do meio ambiente, no que diz respeito ao uso de corretivos e fertilizante.

### 1.5 Composições Químicas do Solo

Diversos elementos químicos são indispensáveis na agricultura, pois sem eles as plantas não conseguem completar o seu ciclo de vida. Para que um elemento seja classificado como essencial, este deve satisfazer os seguintes critérios (Arnon & Stout, 1939):

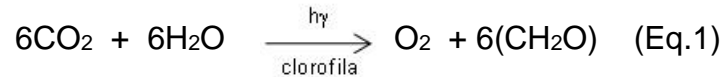
- a) A ausência do elemento impede que a planta complete seu ciclo;
- b) A deficiência do elemento é específica, podendo ser prevenida ou corrigida somente mediante seu fornecimento;
- c) O elemento deve estar diretamente envolvido na nutrição da planta, sendo que sua ação não pode decorrer de correção eventual de condições químicas ou microbiológicas desfavoráveis do solo ou do meio de cultura, ou seja, por ação direta;

De maneira mais simples Epstein (1975) funde os dois últimos critérios em apenas um, mais objetivo:

O elemento faz parte da molécula de um constituinte essencial a planta, exemplo clássico de um elemento que satisfaz este critério é o Mg, que toma parte da molécula de clorofila.

Dezessete elementos químicos são considerados essenciais para o crescimento das plantas, divididos em dois grupos principais: os não- minerais e os minerais (Malavolta, 2006).

Nutrientes não – minerais são elementos encontrados na atmosfera e na água e participam da fotossíntese, são eles: carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O). Eles são utilizados na fotossíntese segundo a Equação 1.



Os produtos da fotossíntese são responsáveis pela maior parte do crescimento das plantas. Quantidades não adequadas de luz, dióxido de carbono ou água afetam a planta reduzindo o crescimento da mesma.

Os Nutrientes minerais são elementos que devem ser fornecidos pelo solo, no total, temos catorze elementos, divididos em três grupos conforme mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Nutrientes Minerais

Macronutrientes Primários	Macronutrientes Secundários	Micronutrientes
N	Ca	Cu, B, Cl
P	Mg	Fe, Mn, Zn
K	S	Mo e Ni

As plantas usam os macronutrientes primários em quantidades relativamente grandes, tornando-se deficientes no solo antes dos demais, os macronutrientes secundários e os micronutrientes são usados em quantidades relativamente menores e são geralmente menos deficientes. Porém eles são tão importantes quanto os macronutrientes primários para uma adequada fertilidade do solo, pois as plantas precisam tê-los a disposição quando houver necessidade. Esta divisão de macronutrientes primários e secundário baseia-se não só nas quantidades exigidas pelas plantas, mais principalmente na importância prática. O cálcio, magnésio e o enxofre são conhecidos como macronutrientes secundários, mas do ponto de vista da nutrição vegetal, nenhum nutriente pode ser considerado secundário. Eles são

tão importantes quanto os primários, apesar de serem exigidos pelas plantas em quantidades menores que os minerais primários. Algumas culturas exigem um teor de enxofre semelhante ao do fósforo e algumas vezes até maior.

Com a evolução das pesquisas na área de nutrição mineral de plantas, foram identificados alguns elementos que podem ser considerados essenciais para algumas espécies ou mesmo substituir parcialmente a função de elementos essenciais. Outros, quando em concentrações muito baixas, estimulam o crescimento de plantas, porém sua essencialidade não é demonstrada ou apenas demonstrada sob determinadas condições especiais. Esses elementos têm sido classificados como elementos benéficos. Existem casos em que o efeito positivo do elemento no crescimento da planta decorre do aumento da resistência a pragas e a doenças, ou favorecem a absorção de outros elementos essenciais.

O sódio e o cobalto são considerados elementos essenciais apenas para algumas espécies. O sódio (Na) substitui parcialmente o potássio no metabolismo vegetal. Embora em alguns casos a adição de sódio tenha causado aumento na produção das culturas, restam dúvidas quanto à essencialidade deste elemento. O cobalto (Co) é indispensável à *Rhizobium*, um microorganismo responsável pela fixação biológica do nitrogênio (N<sub>2</sub>), por isso é considerado um nutriente essencial para as leguminosas.

O silício (Si) pode ser encontrado em altos níveis nos tecidos vegetais embora suas funções permaneçam uma incógnita para os fisiologistas. Porém, pesquisas demonstravam um grande aumento na produção de arroz, milho e tomate na presença de silício (Millar, 1955).

O alumínio (Al) é considerado um elemento tóxico para inúmeras espécies cultivadas, porém, trabalhos empregando solução nutritiva purificada procuram demonstrar um efeito benéfico do elemento quando suprido em baixas concentrações, (Asher, 1991) cita exemplos de trabalhos que demonstraram efeitos benéficos do Al, tanto em plantas acumuladoras desse elemento (*chá*, *Camellia sinensis* L.), como no milho, onde a concentração de 7,4 µmol de Al/L na solução nutritiva resultou em aumento na produção de matéria seca.

O selênio ocorre em solos em concentrações inferiores a 1mg/kg. Por outro lado, ele pode torna-se tóxico se os teores forem elevados nas forrageiras (Raij, 1991). As formas minerais são dos ânions selenito e selenatos sendo essas últimas mais disponíveis para as plantas. A disponibilidade de selênio para as plantas aumenta com o pH e algumas plantas acumulam o elemento, podendo até servir para remover o elemento do solo, em solos com elevada disponibilidade deste elemento.

O vanádio é encontrado, sobretudo, em associação com as rochas. O teor deste elemento normalmente encontrado nas rochas oscila entre  $10^{-2}$  a  $10^{-3}$ . O vanádio é encontrado como cátion, com valências que podem variar entre +2, +3, +4 ou +5, sendo esta última a mais comum, na forma de  $V_2O_5$  (Jorge, 1969). Os efeitos benéficos do vanádio são citados em maior intensidade apenas para vegetais inferiores.

## 1.6 Funções dos Macronutrientes

As plantas transportam e absorvem a maior parte de suas exigências de nitrogênio nas formas de nitrato ( $NO_3^-$ ) ou amônio ( $NH_4^+$ ). Há uma maior absorção do nitrogênio sobre a forma de nitrato em culturas tradicionais, com exceções como o arroz. Em solos bem arejados e medianamente quentes, a amônia é rapidamente convertida a nitrato. O nitrogênio é então convertido a aminoácidos dentro das plantas. Os aminoácidos solúveis, quando disponíveis, são absorvidos e usados diretamente pelas plantas. Praticamente todas as enzimas das plantas contem aminoácidos nitrogenados em sua composição, logo, o nitrogênio é necessário para todas as reações enzimáticas dos vegetais.

O nitrogênio afeta, as reações de transformação de energia e auxilia a planta na produção e no uso de carboidratos. Quando o nitrogênio encontra-se em quantidades adequadas nas plantas, ele produz uma alta concentração de clorofila, o que ocasiona uma cor verde escura nas folhas. Quando em deficiência de nitrogênio, ocorre uma diminuição na concentração da clorofila, ocasionando a clorose (um amarelecimento) das folhas, que tem seu início nas folhas mais velhas

e à medida que for se tornando maior a sua deficiência, passa para as folhas jovens. A clorofila é muito importante, pois seus pigmentos verdes absorvem a energia luminosa para realizar a fotossíntese e produzir açúcares simples a partir do carbono, hidrogênio e oxigênio ( $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ ). O crescimento das plantas é estimulado pelos açúcares simples, e seus produtos de conversão.

As plantas com deficiência em nitrogênio tendem a ser “atarracadas”, produzem menos perfilhos do que o normal e possuem pequenas quantidades de folhas, em algumas culturas, podem atingir a maturidade mais cedo, como no caso do algodão. O nitrogênio não existe nas rochas que dão origem aos solos, embora seja um dos elementos mais abundantes na natureza. Os principais mecanismos que garantem a transferência de nitrogênio para o solo em condições naturais são (Raij, 1991): a transformação do nitrogênio molecular ( $\text{N}_2$ ) em óxidos por descargas elétricas na atmosfera, de onde são levados para o solo através das chuvas na forma de ácido nítrico. O segundo é a fixação direta do nitrogênio do ar por microorganismos do solo, o processo de fixação biológica ocorre através de microorganismos como bactérias, fungos e algas. Na agricultura a fixação simbiótica realizada por bactérias do gênero *Rhizobium* é muito importante, estas bactérias formam nódulos nas raízes de leguminosas e transferem o nitrogênio do ar, transformando-o em compostos metabolizáveis para a planta hospedeira. A matéria orgânica no solo também tem um papel muito importante, no fornecimento de nitrogênio e, eventualmente, dos próprios aminoácidos nitrogenados. A decomposição da matéria orgânica no solo, principalmente por fungos em pH ácido, ou bactérias em condições de pH próximo à neutralidade, é favorecida devido ao nosso clima subtropical, com altas temperaturas, em presença de muita umidade.

O fósforo é, dos três macronutrientes, aquele exigido em menores quantidades pelas plantas (Raij, 1991). É um nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, pois a planta precisa do fósforo para completar seu ciclo normal de produção e nenhum outro pode substituí-lo. É o nutriente mais usado em adubação no Brasil, devido a sua carência generalizada nos solos brasileiros e também por ser um elemento que tem forte interação com o solo, tornando-se facilmente indisponível. Ele encontra-se no solo em três formas: ligado à matéria orgânica, solúvel ou formando compostos inorgânicos com baixa solubilidade. O

fósforo promove o desenvolvimento e o crescimento prematuro das raízes, é vital para o desenvolvimento das sementes, além de melhorar a qualidade de muitas verduras, frutas e culturas graníferas. Ele atua em vários processos da planta, na respiração, no armazenamento e transferência de energia, na divisão celular, na fotossíntese, no crescimento das células, aumenta resistência aos rigores do inverno, ajuda no desenvolvimento mais rápido das raízes e plântulas, melhora a eficiência no uso da água e acelera a maturidade, beneficiando a qualidade e colheita da cultura. A maior concentração de P nas plantas esta localizada nas sementes. O efeito principal da deficiência de fósforo nas plantas é o desenvolvimento subnormal da mesma, com o crescimento de folhas retorcidas. Quando a deficiência é mais grave, áreas mortas aparecem nos frutos e nas folhas mais velhas, que são afetadas primeiro que as mais novas. Em baixas temperaturas é observada uma cor púrpura ou avermelhada nas plantas deficientes em P, principalmente no milho e algumas outras culturas. Em algumas, a deficiência do fósforo culturas é difícil de ser detectada, por isso, deve-se ficar atento ao crescimento subnormal da planta e confirmar os sintomas visuais com uma análise do solo e da planta.

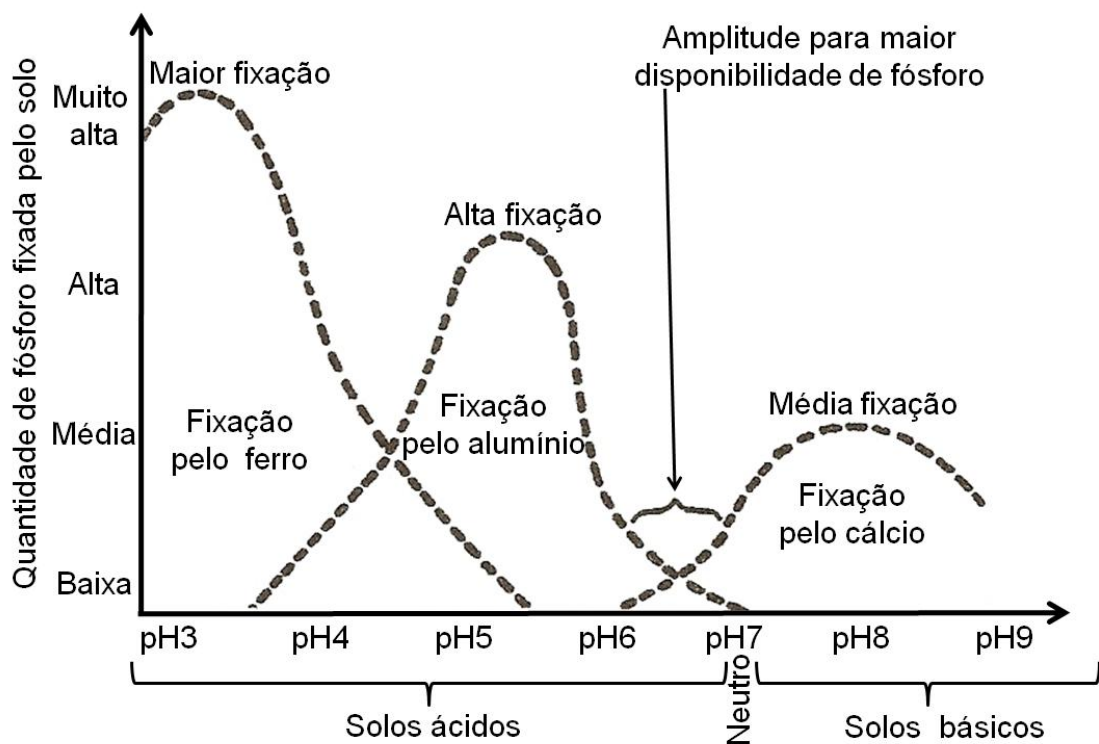


Figura 2 - Disponibilidade de fósforo de acordo com o pH  
(Scheid, 1937)

As plantas absorvem o fósforo como íon fosfato, principalmente na forma de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , este encontra-se em níveis extremamente baixos em valores altos de pH, razão pela qual se observa, nestas condições, as menores taxas de absorção de fósforo pelas plantas. A absorção das formas  $\text{HPO}_4^{2-}$  e  $\text{PO}_4^{3-}$  é muito pequena, de modo que o melhor aproveitamento do fósforo pelas plantas ocorre nos níveis de pH entre 6,0 e 7,0. Em solos ácidos, o fosfato se combina com o manganês e o alumínio para formar produtos insolúveis, tornando o fósforo menos disponível. Em solos alcalinos o cálcio reage com o fosfato, diminuindo a disponibilidade deste à medida que os valores do pH ficam maiores. Na figura 2 citada acima está representada a taxa de fixação do fosfato em função do pH. A maior parte do fósforo no solo é obtido pela intemperização da hapatita, que gera vários compostos de fósforo, entre eles o ácido ortofosfórico. Outras fontes deste nutriente são os microorganismos, os húmus, a matéria orgânica e os corpos dos insetos ou de outras formas de vida em decomposição.

O potássio é um elemento essencial para as plantas, ele é retirado do solo na forma iônica ( $\text{K}^+$ ) nenhum outro elemento pode substituí-lo, a não ser o sódio em alguns casos, como citado anteriormente. Depois do fósforo é o macronutriente mais consumido na agricultura brasileira como fertilizante. Ele não forma compostos orgânicos nas plantas, sua função principal está ligada ao metabolismo das mesmas, regulando a absorção da água, equilibrando o efeito do fósforo e nitrogênio e revigorando as plantas com objetivo de fazê-las resistir melhor às doenças principalmente em presença de excesso de nitrogênio. Quando seu teor é deficiente, a fotossíntese diminui e a respiração das plantas aumenta, ocasionando uma redução do suprimento de carboidratos para as mesmas. É um elemento chave na redução de doenças nas plantas tais como: mofo nos grãos de soja, queima bacteriana do fumo, queima de folhas e podridão dos colmos no milho, manchas nas folhas e “dollarspot” em gramíneas e murchas e “damping-off” no algodão. O potássio mantém uma planta resistente a doenças aumentando o mecanismo de resistência natural da mesma, fazendo com que as células fiquem mais túrgidas e menos susceptíveis a invasão de certas doenças após um período longo de chuvas. Reduz a quantidade de sementes de soja com característica mofada, enrugada e descolorida e ocasiona uma resistência maior aos colmos e talos contra a entrada

de organismos invasores. Os sintomas de deficiência de potássio podem ser verificados de várias formas, o principal deles é a queima ou murcha ao longo das laterais das folhas, acontece primeiro nas folhas mais velhas na maioria das culturas especialmente nas gramíneas, porém, em determinadas culturas e sob certas condições, as folhas mais jovens podem apresentar os sintomas primeiro. Com deficiência de potássio, as plantas ficam mais vulneráveis às doenças, pois apresentam sistemas radiculares pouco desenvolvidos, os colmos são fracos e o acamamento é comum. As sementes e os frutos se apresentam menores e enrugados.

A maior parte dos solos contém uma grande quantidade de potássio, porém menos de 2% se encontra disponível para as plantas. Ele é encontrado no solo de três formas: não disponível, lentamente disponível e disponível. Consideramos como não disponível o potássio encontrado em minerais, só liberado quando os minerais do solo sofrem intemperização. Lentamente disponível é o potássio retido ou “fixado”, entre as lamelas de certas argilas, os íons de potássio ( $K^+$ ) são retidos entre essas camadas tornando-se lentamente disponível. Disponível é o potássio encontrado na solução solo ou adsorvido sob a forma trocável na superfície externa da argila e matéria orgânica do solo.

O cálcio é um nutriente consumido em quantidades muito variadas em diferentes culturas, encontra-se na forma não-móvel nas plantas. Ele estimula o crescimento de compostos que formam as paredes celulares das plantas reforçando sua estrutura, reduz os nitratos, ativa vários sistemas enzimáticos, neutraliza os ácidos orgânicos, e atua no desenvolvimento dos grãos na cultura do amendoim. Tem um papel indireto muito importante nas produções, reduzindo a acidez do solo, melhorando o crescimento das raízes, estimulando a atividade microbiana e auxiliando na absorção de outros nutrientes. A deficiência em cálcio é caracterizada pela redução do crescimento do sistema radicular. Em casos mais graves o ponto de crescimento da raiz morre. Na parte aérea das plantas, a deficiência de cálcio acarreta a redução dos tecidos meristemáticos, ocasionando defeitos nas extremidades das folhas novas, que tornan-se deformadas e cloróticas. O cálcio é encontrado no solo como cátion bivalente ( $Ca^{2+}$ ), o seu teor nos solos minerais e orgânicos varia mais do que qualquer outro nutriente. Os solos orgânicos



recentemente drenados contém uma quantidade pequena de cálcio e apresentam valores de pH baixos. Os solos argilosos contêm mais cálcio do que os arenosos.

O magnésio tem uma participação ativa na fotossíntese, pois é um mineral constituinte da clorofila, logo, o magnésio concentra-se nas folhas, as sementes também são relativamente ricas em magnésio, com exceção do milho que possui níveis baixos de magnésio em suas sementes. Ele também contribui para a ativação do sistema enzimático, respiração da planta e para o metabolismo do fósforo. A carência de magnésio se manifesta pela cor amarelada, bronzeada ou avermelhada das folhas, iniciando pelas mais velhas, enquanto as nervuras das mesmas permanecem verdes. Este fato ocorre porque o magnésio apresenta grande mobilidade dentro da planta, sendo deslocado das partes maduras para as que apresentam maior desenvolvimento. O magnésio é encontrado no solo na forma de cátion bivalente ( $Mg^{2+}$ ), em duas formas principais: o pouco solúvel (minerais ferro - magnesianos, silicatos e dolomita) e o solúvel. O Mg é encontrado em menores quantidades do que o cálcio, por ser mais solúvel e sujeito a maior lixiviação. Os solos arenosos ácidos são mais deficientes em magnésio, pois são formados sob condições de elevado índice pluviométrico. Quando a relação entre o cálcio e o magnésio no solo for alta, ocorrerá uma menor absorção do magnésio.

O enxofre é um elemento importante, pois é constituinte das proteínas na forma dos aminoácidos cistina e metionina, auxilia na produção de enzimas e vitaminas e promove a formação de nódulos. Ele se encontra em maior concentração no colmo do que nas sementes. Não faz parte da clorofila, porém, na sua ausência, não se verifica o desenvolvimento do pigmento verde, cor característica das folhas. A absorção do enxofre ocorre na forma de ânion sulfato ( $SO_4^{2-}$ (aq)). A carência de enxofre é notada pelo amarelamento das folhas novas e pelo alongamento dos galhos sem o respectivo engrossamento. Os frutos apresentam espessamento na casca e descoloramento. Há duas fontes principais de enxofre no solo, a orgânica e a mineral. Ele é encontrado em pequenas quantidades em diversos materiais orgânicos como, cabelo, gema de ovo, sementes e tecidos nervosos.

Na forma mineral pode ser encontrado principalmente como sulfato de zinco ou de ferro, no solo ocorre na forma de sulfato. Grandes quantidades de enxofre são retiradas na matéria orgânica, logo, o seu teor e sua velocidade de decomposição influenciam na quantidade de enxofre disponível para as plantas. O íon sulfato tende a permanecer na solução do solo, sendo facilmente lixiviado, um dos motivos pelo qual os solos superficiais tendem a ser pobres em enxofre, enquanto os de maior profundidade possuem níveis maiores deste elemento.

### 1.7 Funções dos Micronutrientes

Oito dos dezessete nutrientes essenciais para as plantas são chamados de micronutriente: O Boro(B), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Cloro (Cl), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Molibdênio (Mo) e Níquel (Ni) (Malavolta, 2006). Esses elementos são denominados micronutrientes por serem necessários em quantidades muito pequenas. Porém, têm uma importância muito grande para a nutrição vegetal, tanto quanto os macronutrientes, pois a falta de um deles no solo pode limitar o crescimento das plantas, mesmo se todos os outros nutrientes essenciais estiverem presentes em quantidades adequadas. A importância e a necessidade dos micronutrientes são conhecidas há muitos anos, mas a incorporação deles nos fertilizantes é recente. As produtividades crescentes das culturas aceleram a redução dos teores de micronutriente no solo, levando à necessidade de repô-los com o uso de fertilizantes.

O pH tem uma influência grande sobre os micronutrientes, pois com o aumento do pH diminui a disponibilidade dos micronutrientes, com exceção do molibdênio, pois à medida que o pH aumenta, também aumenta sua disponibilidade. Por outro lado, quando o pH do solo diminui, alguns micronutrientes tornam-se solúveis e, eventualmente, tóxicos para as plantas. Uma medida eficaz para reduzir o risco da toxidez dos micronutrientes é a utilização de uma calagem adequada, tornando o pH do solo próximo de 6,5.

O boro é um não metal e apresenta um comportamento aniônico. Seus teores no solo são variados, sendo um elemento não uniformemente distribuído. Em soluções solo a forma mais provável é a de ácido bórico,  $H_3BO_3$  um ácido muito

fraco ( $pK_1$  de 9,24), e só acima de pH 7 ocorre dissociação e o aparecimento da forma  $H_2BO_3^-$ . É o micronutriente de maior mobilidade, depois do cloro. Devido à intensa lixiviação do boro ocasionada na grande maioria dos solos, observa-se o acúmulo do mesmo nos oceanos, logo, as rochas sedimentares de origem marinha são mais ricas em boro do que as rochas cristalinas. O teor de boro nas plantas varia com a quantidade do elemento disponível no solo (Millar, 1955). Algumas funções importantes, entre várias outras deste micronutriente na fisiologia vegetal, são seus efeitos na absorção da água, translocação de açúcares e absorção e utilização de cálcio. Sua deficiência retarda o crescimento das plantas. As partes mais novas dos vegetais, como o ponto de crescimento das raízes e as folhas novas, são afetadas primeiro nos casos em que há carência de boro. Os principais sintomas de deficiência do boro são manifestados da seguinte forma: caule oco e flor bronzeada (couve-flor), encardimento nas folhas (alface), sementes abortadas e goma dentro dos frutos (citros), avermelhamento dos folículos superiores (alfafa). As fontes de boro no solo, além da matéria orgânica, são os boratos e os boro-silicatos.

O cobre predomina na solução do solo na forma de  $Cu^{+2}$ . É mais fortemente retido por radicais orgânicos que qualquer outro micronutriente. A maioria dos complexos quelados, são solúveis. Em função desta forte interação mais de 98% de cobre da solução esta ligada a compostos orgânicos (Hodgson, 1966). É indispensável às plantas, pois é necessário para a formação da clorofila, no processo de respiração e como catalisador nos vários processos de oxidação nos vegetais. É encontrado em maior quantidade nas radículas das plantas. Nas raízes fibrosas das plantas cítricas sua concentração pode ser 10 vezes maior que nas folhas. A sua deficiência pode ser detectada pela morte das gemas terminais em plantas cítricas e através da murcha da cebola, em outras espécies ocorre à distorção das folhas assumindo a forma de "S", ocorrendo também a clorose entre as nervuras e a morte na ponta dos ramos.

O ferro é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre, vindo a representar cerca de 5% dela (Segalen, 1964). Sua geoquímica é complexa e determinada pela facilidade de mudanças nas valências  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$ . Seu comportamento esta relacionado aos ciclos do carbono, enxofre e oxigênio. No solo sua ocorrência é principalmente na forma de óxidos e hidróxidos. Ele é encontrado

no solo na forma não-disponível e disponível. O não-disponível está incorporado aos minerais como a magnetita, pirita, limonita, dentre outros. A forma disponível é representada na forma  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$ . O teor de  $Fe^{3+}$  aumenta com o incremento da acidez, atingindo altas concentrações em pH menor que 3. É absorvido pelas plantas nas formas  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$  porém, só na forma bivalente é utilizado no metabolismo, fazendo parte de certas enzimas e agindo como catalisador na formação da clorofila. Sua deficiência é detectada através do amarelamento das folhas, porém as nervuras permanecem verdes ocasionando um contraste entre ambos. Não apresenta mobilidade dentro das plantas, devido a este fator, sua deficiência aparece primeiro nas folhas jovens na parte superior, nos citros ocorre a morte das folhas terminais em seguida a secagem dos ramos. Três fatores ocasionam a deficiência de ferro no solo: O desequilíbrio de metais como o molibdênio, cobre ou manganês; o excesso de fósforo ou pH elevado.

O manganês é um dos micronutrientes mais comuns na litosfera, ele forma diversos minerais com valência  $Mn^{2+}$ ,  $Mn^{3+}$  e  $Mn^{4+}$ . Desempenha um papel importante nos processos redox, tais como no transporte de elétrons na fotossíntese e na desintoxicação de radicais livres de oxigênio. O manganês atua como centro metálico em duas metaloproteínas, mais precisamente de duas metaloenzimas: uma que quebra a molécula da água no Fotossistema II (FS II) e a superóxido dismutase. O Mn atua ainda como ativador de outras 35 enzimas, comandando desde a biossíntese de aminoácidos aromáticos até a de produtos secundários, como lignina e flavonóides. Existe grande semelhança entre o comportamento do manganês e do ferro, nos solos ambos são móveis em pH baixos, insolubilizando-se em solos calcários (Duchaufour, 1965). Acelera a germinação e a maturidade e aumenta a disponibilidade de fósforo e cálcio. A sua deficiência causa o aparecimento de manchas cloróticas nas folhas além de áreas acinzentadas próximas a base das folhas jovens.

O cloro ocorre na solução do solo na forma na forma iônica ( $Cl^-$ ), e tem um comportamento muito similar ao  $NO_3^-$ , quando a adsorção em cargas positivas. É um elemento essencial para o crescimento da plantas, sendo um componente comum de sais solúveis como  $NaCl$ ,  $KCl$ ,  $CaCl_2$  e  $MgCl_2$  (Millar, 1955), participa da fotossíntese é necessário para a osmose e o balanço iônico. Os cloretos são sujeitos

a uma taxa considerável de lixiviação, pois ele não é retido pelas partículas do solo, o que explica sua alta concentração nos oceanos. Na prática, dificilmente precisamos adicionar cloro ou cloreto ao solo para suprir as necessidades das plantas, pois ele é trazido pelas águas das chuvas e por vários adubos empregados na lavoura, como o KCl. Os efeitos da sua deficiência variam conforme a planta, podendo apresentar murchidão, clorose, morte dos tecidos e, no caso do tomateiro, uma coloração bronzeada. Em certas culturas o excesso de cloro pode reduzir a qualidade, especialmente o fumo produzindo folhas espessas, quebradiças e com margens arredondadas.

Molibdênio é o micronutriente utilizado em menor proporção, apresenta - se dissolvido na solução do solo como íon molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}(\text{aq})$ ) ou não- disponível como constituintes dos minerais ferrimolibdita ou molibdenita. Ele é necessário à formação de uma enzima, a redutase do nitrato. Esta enzima reduz nitratos a amônio na planta. Este micronutriente é vital para ajudar as leguminosas a fornecer nódulos que por sua vez, são indispensáveis ao processo de fixação simbiótica de nitrogênio. De todos os nutrientes é o único cuja disponibilidade aumenta com a elevação do pH (Orston, 1966). A sua deficiência causa o amarelamento e pouco crescimento das plantas. Solos ácidos e solos arenosos apresentam uma deficiência maior deste micronutriente.

O zinco encontra-se no solo na forma bivalente  $\text{Zn}^{2+}$  sendo mais disponível às plantas em solos ácidos (Millar, 1955). A solubilização pelo intemperismo produz o cátion  $\text{Zn}^{2+}$ , que é adsorvido pelos minerais e matéria orgânica, a adsorção é reduzida pelo abaixamento do pH. A falta de zinco é mais comum em solos argilosos sendo notada principalmente em pomares cítricos. É um elemento indispensável às plantas, sua quantidade requerida varia com as espécies, havendo algumas culturas mais exigentes como café, milho e cítricos. O zinco auxilia as substâncias que atuam no crescimento e nos sistemas enzimáticos, é essencial para ativação de certas reações metabólicas, é necessário para produção de clorofila e a formação de carboidratos. Sua assimilação é maior quando esta associada à matéria orgânica. Na falta deste elemento, é observado facilmente o mau desenvolvimento das folhas. As folhas velhas, em certas circunstâncias, morrem, enquanto as folhas novas apresentam listas no sentido do comprimento dos ramos.

O níquel é um componente comum em rochas ígneas sendo as fontes mais comuns as enlanteritas. A mobilidade do níquel no solo é média sob condições oxidantes, elevada em ambiente ácido, muito baixa em ambiente neutro a alcalino ou redutor. Nas plantas superiores, é essencial para ativação da enzima urease, uma enzima envolvida no metabolismo do nitrogênio. Sem o níquel, níveis tóxicos de uréia se acumulam, resultando em lesões necróticas. Nos vegetais inferiores, o Níquel ativa várias enzimas envolvidas em uma variedade de processos, e pode substituir o zinco e o ferro como cofatores em algumas enzimas (Malavolta, 2006).

### 1.8 Absorção e Disponibilidade de Nutrientes no Solo

As plantas obtêm os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento através da absorção dos elementos existentes na solução solo pelas raízes. Esta absorção dos nutrientes pelas plantas ocorre por três processos: *interceptação radicular*, *fluxo de massa* e *difusão*. O sistema radicular ao desenvolver-se encontra os nutrientes necessários ao crescimento das plantas, que são absorvidos pelo processo de *interceptação radicular*. Através da absorção constante da água do solo pelas plantas, os nutrientes contidos em solução são absorvidos pelo processo de *fluxo de massa*. Devido à absorção de nutrientes, são criadas diferentes concentrações na solução do solo próximo a superfície da raiz, ou seja, teores mais baixos próximos e mais altos distantes delas, ocasionando o movimento *por difusão* dos nutrientes da superfície do solo para a raiz.

O teor disponível de um nutriente em determinadas condições, além das formas químicas encontradas no solo, depende de outros fatores tais como: desenvolvimento do sistema radicular, capacidade de absorção da cultura, tempo de crescimento, condições climáticas e disponibilidade dos outros nutrientes. Considera-se disponível o nutriente que se encontra na solução solo, juntamente com o que se encontra na fase sólida, em condições de ser transferido para a fase líquida.

## 2. OBJETIVOS

Visto a importância dos macronutrientes e micronutrientes vegetal, este trabalho teve por objetivo fazer uma análise da disponibilidade dos nutrientes fósforo, potássio, cobre e zinco em amostras de solos do Estado do Rio de Janeiro.

## 3. ANÁLISE DO SOLO

No intuito de saber como as plantas crescem (Silva, 1999), Justus Von Liebig (1840) realizou aquela que é considerada como a primeira análise de solo, outros pioneiros como Dyer (1894), Hilgard (1911) e Burd (1918), deram significativas contribuições para o desenvolvimento da análise química do solo. No final da década de 20 e no início da década de 30, Bray (1929), Herter(1934), Morgan(1932), Spurway(1933) e Truog (1930), destacaram-se no desenvolvimento das metodologias. No Brasil as análises se popularizaram a partir de 1965, sob a liderança do Dr. Leonardo Vettori, no âmbito do Programa “Soil Testing”, a partir do convênio firmado entre o Ministério da Agricultura e a Universidade Carolina do Norte.

O “Soil Testing, tinha como objetivos a calibração, experimentação, automação e uniformização dos procedimentos para as análises de solos. Desde aquela época até os dias de hoje, devido a esse programa, são realizadas reuniões brasileiras de fertilidade de solo promovida pela Sociedade Brasileira de Ciência em Solos. Outra consequência direta do Programa “Soil Testing” foi a publicação do “Manual de Métodos de Análise do Solo” (Embrapa, 1979), contendo os métodos de análise química, física e mineralógica do solo, atualmente na 2ª edição. Esta publicação é a principal referência utilizada pelos laboratórios que realizam análise de solo.

A análise do solo deve ser feita por todo agricultor antes de implantar uma determinada cultura, para que se possa obter uma avaliação da sua fertilidade. Possibilitando se necessário a correção do solo com corretivos e adubos, representando uma economia de recursos. Para que os objetivos sejam atingidos, é necessária a realização de várias atividades, que vão desde a amostragem do solo

até a recomendação do corretivo ou adubo. Elas correspondem às seguintes etapas, conforme apresentado na Figura 3 (Chitolina, 1982).

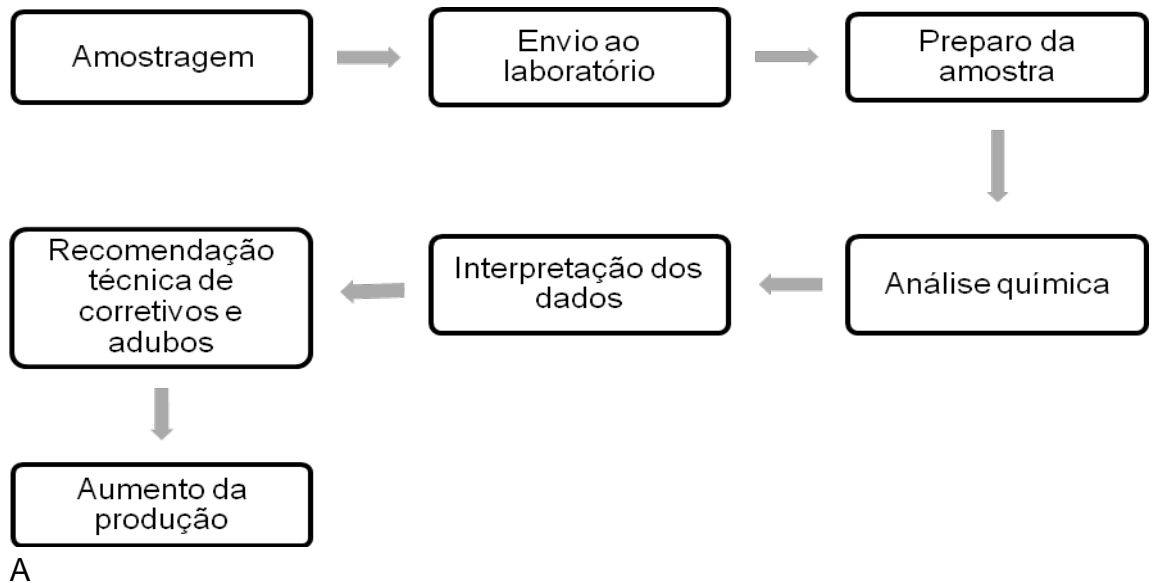


Figura 3. Etapas para a realização de uma análise de solo.

A etapa mais sensível neste processo é a amostragem, pois é a que mais ocasiona erros finais (Jorge, 1986). Uma amostra representativa deve refletir as condições de fertilidade de uma área específica. A principal dificuldade é conseguir obter uma amostra que represente a variabilidade do solo na área de cultivo, e esta tarefa se torna mais difícil à medida que a área de cultivo aumenta.

### 3.1 Coleta de amostra de solo

Por amostragem entende-se uma série de operações que permitem extrair de um sistema parcelas que, combinadas e reduzidas a um tamanho apropriado, dão uma amostra com características representativas do sistema (Chitolina 1982). Cada uma dessas parcelas é chamada de amostra simples, e a combinação delas de amostra composta (Kempthorne e Allmaras, 1965, Klute, 1986). Em uma única propriedade agrícola, mesmo de extensão reduzida, pode-se ter diferentes tipos de solos, sob os mais variados aspectos. Portanto, há a necessidade da área a ser amostrada, representar um solo homogêneo quanto a sua capacidade de suprir nutrientes. O primeiro passo é dividir a área em glebas homogêneas. Conforme representado na Figura 4.



Para a definição de área homogênea, utilizam-se características do solo e de uso do mesmo tais como: cor, textura, topografia, vegetação natural, drenagem, manejo de lavouras anteriores, práticas corretivas, adubação, rotação de cultura, cultura anterior e produtividade (Saraiva, 1989). Não se recomenda considerar como homogênea uma área superior a 10 hectares (CFSEMG, 1999).

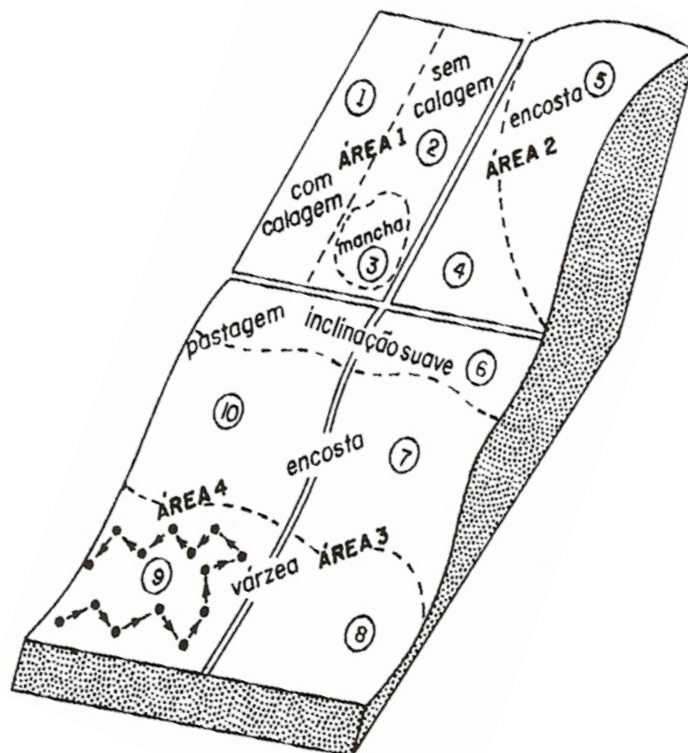


Figura 4 – Plano de amostragem de uma gleba, com diferentes declives e usos de solo (Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC 1994).

O terreno da figura 4 representa uma fazenda de 40 ha, que foi dividido em 4 áreas de 10ha cada. Na área 1, foram identificadas 3 regiões: uma que recebeu calagem na safra anterior (1), a segunda que não recebeu calagem (2) e uma terceira onde foi percebido solo de coloração diferente (3). Na área 2 foram identificadas 2 regiões, uma com inclinação suave (4) e a outra de encosta (5). Na área 3 foram identificadas 3 regiões uma com inclinação suave (6), a outra de

encosta (7) e a terceira de várzea (8). Na área 4 foram identificadas 2 regiões uma de várzea e a outra de pastagem. Para a análise correta do solo deverá ser obtida uma amostra composta por região, já que as mesmas possuem solos diferenciados. Logo, deverão ser coletadas entre 150 e 200 amostras simples que comporão 10 amostras compostas, uma para cada região.

Para a definição da quantidade ou do número mínimo de amostras simples que deverá formar uma composta, é necessário avaliar, antecipadamente, o tamanho da área, conforme a Tabela 2 (Miranda, 1982).

Tabela 2. Quantidade de amostra de acordo, com o tamanho da área.

Tamanho da Gleba	Número de amostras simples para formar uma composta
Até 3 ha	15
De 3 a 5 ha	20
De 5 a 10 ha	30

Fonte: Miranda (1982)

Locais próximos de casas, formigueiros, cupinzeiros, currais e rodovias, devem ser amostrados separadamente. É preciso fazer uma amostragem para cada tipo da terra, áreas mesmo que pequenas e diferentes das circunvizinhanças, deverão ser amostradas separadamente.

Após definir a área a ser amostrada deve-se limpar o local escolhido, eliminando restos de plantas, capim, folhas e pedras, sem revolver o solo. Em seguida, cada uma das áreas escolhidas deverá ser percorrida em zig-zag, conforme mostrado para a área (9) da Figura 4, retirando-se com um trado inox, ou outro equipamento escolhido, amostras de 15 a 30 pontos diferentes, que deverão ser colocadas juntas em um balde plástico limpo e misturadas manualmente, obtendo-se uma amostra composta pesando cerca de 400g. Em seguida colocar em uma sacola plástica limpa amarrar bem a sacola, preencher algumas informações para a identificação da amostra tais como, nome do proprietário, endereço, cultura a ser implantada, profundidade coletada da amostra e o tipo de análise que se deseja

fazer rotina ( macronutrientes) ou completa (macronutriente e micronutriente) anexar estes dados na sacola contendo a amostra. Logo após encaminhar para o laboratório.

Um erro comum é coletar amostras apenas até 20 cm de profundidade, que representa a camada arável. As informações obtidas, em termos de fertilidade, são muito limitadas, tanto para a instalação de lavoura de ciclo curto quanto para culturas perenes (cultura de ciclo longo), pois as raízes exploram o solo em profundidades muito maiores. Visando a implantação da lavoura, principalmente a de culturas perenes, o solo deve ser amostrado, pelo menos, nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm. Idealmente, pode-se também retirar amostras na profundidade de 40-60 cm. As análises em profundidades abaixo da camada arável são importantes para avaliarmos os seguintes aspectos:

- a) Ocorrência de barreiras químicas (deficiência de cálcio e/ou excesso de alumínio) para o aprofundamento normal do sistema radicular.
- b) Acúmulo de nutrientes móveis, principalmente  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{K}^+$ , nos solos sob cultivo intenso.
- c) Descoberta de possível existência de camadas compactadas ou pedregosas.

Quanto à época da coleta das amostras, a literatura existente apresenta poucos estudos em função das variações nos teores de nutrientes durante o ano. Porém, existem algumas recomendações, tais como: é importante programar a época adequada para o recebimento dos resultados, aconselha-se amostrar o solo dois a três meses antes de se fazer correção e a adubação do solo. Outro aspecto importante é que a amostragem do solo não deve ser feita em condições de solo muito úmido, entre outras razões, pela dificuldade de se obter uma mistura adequada das amostras simples.

A frequência de amostragem segundo Raij (1991) deve ser repetida em intervalos que podem variar de um a quatro anos. A variação neste intervalo depende do poder tampão do solo, da quantidade e tipo de fertilizante utilizado, do número de cultivos por ano e das produtividades obtidas. Por exemplo: áreas cultivada intensamente com 2 ou 3 culturas por ano, sob irrigação, devem ser

analisadas anualmente. A princípio, tanto em culturas anuais quanto perenes em fase de produção, o agricultor deveria considerar seriamente a análise do solo como prática a ser feita anualmente.

As amostras de solo podem ser coletadas com trados ou sondas. Os trados mais utilizados são: o trado de rosca, o trado de meia lua (calador) e o trado holandês. Também pode-se usar ferramentas da fazenda, como enxada e pá reta, conforme representado na Figura 5. Ao se utilizar o trado, deve-se limpar suas laterais com um canivete, retirando os restos de terra de operações anteriores. A amostragem com trado holandês é menos afetada pela textura e pelo teor de umidade do solo do que a amostragem feita com trado de rosca ou trado calador.

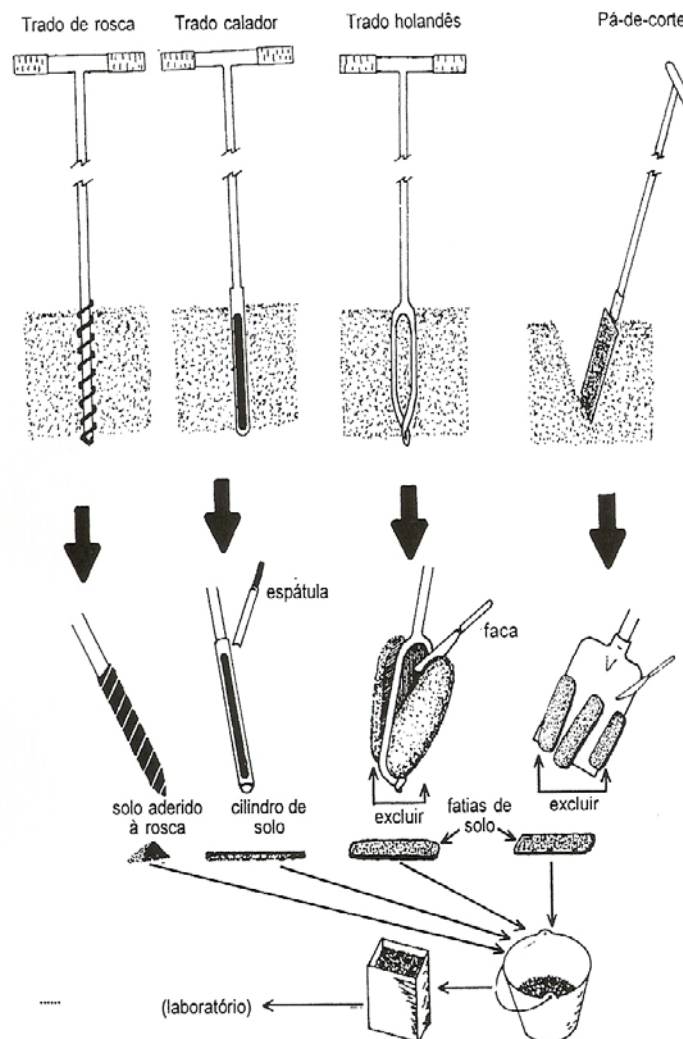


Figura 5 – Procedimento de amostragem de solo utilizando-se diferentes equipamentos (Comissão de Fertilidade do Solo –RS/SC 1994).

Para o armazenamento do solo coletado, recomenda-se a secagem das amostras á sombra e em local ventilado sobre uma lona, antes de separar o solo para posterior ensacamento. Caso as amostras não possam ser enviadas para o laboratório assim que são coletadas, elas estarão em condições de suportar um período de até 6 meses de armazenagem, sem que ocorram alterações no resultado das análises de rotina (pH, Ca, Mg, K, Na, P e Matéria orgânica). No caso de análises químicas completas, verifica-se que o processo de secagem e o tempo de armazenamento das amostras alteram drasticamente os teores de Mn trocável (Pavan e Miyazawa, 1984), independente do extrator utilizado, sendo que as maiores variações são observadas em solos ácidos. Logo, esses autores concluíram que, se o solo for seco ao ar, os resultados referentes ao Mn trocável serão imprevisíveis, dependendo principalmente do tempo entre a secagem e a análise e do pH do solo.

### 3.2 Metodologia

A seguir serão relatados os métodos de análise de alguns elementos químicos tais como Potássio, Fósforo, Cobre e Zinco adotados pela FUNDENOR (Fundação Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional), a qual possui o Selo de Qualidade para as Análises de Solos com conceito A, desde o ano de 2001 até os dias atuais, obtido através de programas de calibração interlaboratoriais realizados pela da EMBRABA em todo o Brasil. Os métodos de análises foram baseados no Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes / Embrapa Solos. Porém, existem outros laboratórios, com suas metodologias específicas para análise de solos.

#### 3.2.1 Preparo das amostras

##### **a) Material:**

- ◆ Estufa com circulação de ar forçado;
- ◆ Peneira de 2 mm de malha;
- ◆ Rolo de madeira;

- ◆ Tabuleiros;
- ◆ Sacos plásticos.

**Procedimento:**

Secagem: Amostra, após ser protocolada, é posta em tabuleiros, sendo submetida à estufa para secar a 60°C por 24-48h, ou então seca ao ar livre (TFSA).

Destorroamento: Após a secagem a amostra é destorrada, utiliza-se um moinho especial ou um simples rolo de madeira que desfaça os torrões sem que afete a micro estrutura da amostra.

Peneiragem: Após o destorroamento a utiliza-se uma peneira de 2 mm de malha na qual a amostra é peneirada e transferida para o recipiente apropriado (sacos plásticos) devidamente identificados, a amostra que ficar retida na peneira é descartada.

Acondicionamento: Prefere-se utilizar sacos plásticos pelo seu baixo custo e fácil armazenamento.

### 3.2.2 Determinação de fósforo disponível

**a) Material:**

- ◆ Balança analítica;
- ◆ Agitador de mesa circular horizontal;
- ◆ Espectrofotômetro (Colorímetro);
- ◆ Amostrador padrão (cachimbo) de 30mg;
- ◆ Amostrador padrão (cachimbo) de 10 mL;
- ◆ Funil de plástico;
- ◆ Pincel e espátula;
- ◆ Pipetas volumétricas de 5 e 10 mL;
- ◆ Pipetas graduadas de 2 mL 10 mL e 50 mL;
- ◆ Erlenmeyer de 125 mL;
- ◆ Proveta de vidro de 100 mL;
- ◆ Frascos snap-cap de 50 mL;

- ◆ Espátula;
- ◆ Bastão de vidro;
- ◆ Becker de 500 mL e 2000 mL;
- ◆ Pipetador semi-automático;
- ◆ Balões volumétricos de 1000 mL e 2000 mL;
- ◆ Funil de haste longa sem ranhura;
- ◆ Capela;

**b) Reagentes:**

- ◆ Ácido sulfúrico PA;
- ◆ Ácido clorídrico PA;
- ◆ Água deionizada;
- ◆ Carbonato de bismuto PA;
- ◆ Ácido ascórbico PA;
- ◆ Molibdato de amônio PA;
- ◆ Fosfato ácido de potássio PA;

**c) Preparo das soluções:***Solução extratora Mehlich*

A solução extratora Mehlich também chamada de Carolina do Norte, é constituída por uma mistura de HCl 0,05 mol/L e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol/L. Adicionar 4,2 mL de HCl PA e 0,7 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> PA para mais ou menos 750 mL de água deionizada e completar para 1L em balão volumétrico.

*Solução de molibdato (sulfomolibdica)*

Dissolver 0,6g de carbonato de bismuto PA em 250 mL de água deionizada, colocar o recipiente com a solução dentro de uma cuba com água corrente. Em seguida adicionar a solução 45 mL de ácido sulfúrico PA reservar. Dissolver 6,0g de molibdato de amônio PA em 500 mL de água deionizada. Juntar as soluções, deixar esfriar e completar o volume para 1L em balão volumétrico.

#### d) Preparação da curva padrão do fósforo:

##### *Solução estoque 103 ppm*

Dissolver 0,4536g de fosfato ácido de potássio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) PA seco em estufa por 2 horas a 110 °C, em 500 ml de água deionizada e 10 ml de ácido sulfúrico 0,25 mol/L, em seguida completar o volume para 1L em balão volumétrico.

##### *Soluções padrão*

Foram preparadas a partir da solução estoque citada acima e encontram-se na tabela abaixo.

Tabela 3. Concentração da solução padrão de P em função do volume da alíquota da solução estoque 103 ppm.

Concentração desejada (ppm)	Alíquota da solução estoque (mL)
0,00	0,00
5,15	5,00
10,30	10,00
15,45	15,00
20,60	20,00
25,75	25,00
30,90	30,00

Em balões volumétricos de 100 mL, adicionar uma alíquota da solução estoque de fósforo de concentração 103 ppm, segundo a concentração desejada para a solução padrão, conforme estabelecido na Tabela 3. Adicionar 10,00 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,25 mol/L e completar o volume para 100 mL. Transferir para frascos apropriados e identificar cada um deles com a concentração correspondente as alíquotas pipetadas.

Transferir 5,00 mL de cada solução-padrão para frascos snap-cap de 50 mL, adicionar 10,00 mL de solução sulfomolibdica e 30 mg de ácido ascórbico. Agitar até completa solubilização do ácido ascórbico. Deixar reagir por 30 minutos e realizar as medidas no espectrofotômetro a 640nm. Anotar os resultados em unidades de



absorbância. Construir um gráfico com as concentrações de fósforo no eixo das abscissas e as leituras na ordenada. Determinar a equação da reta  $y = ax + b$  onde 'y' é a absorbância, 'x' é a concentração, 'a' é o coeficiente angular da reta e 'b' é a interseção no eixo x.

**e) Procedimento:**

Medir com auxílio de um amostrador padrão 10 mL de solo (TFSA) e transferir com auxílio de um funil de plástico para um Erlenmeyer de 125 mL. Adicionar 100 mL da solução extratora Carolina do Norte.

Agitar por 5 minutos em agitador de mesa circular horizontal, com a rotação de 180 rpm, não é necessário tampar os Erlenmeyers. Deixar decantando por uma noite.

Pipetar cerca de 50 mL do extrato sem filtrar, passar para um recipiente (snap-cap) de aproximadamente 50 mL.

Pipetar 5 mL desse extrato, com auxílio de uma pipeta volumétrica para snap-caps de 50 mL numerados de acordo com o número de replicatas. Reservar o restante para determinação do  $K^+$ ,  $Cu^{2+}$  e  $Zn^{2+}$ .

Adicionar 10 mL da solução sulfomolibdica e 30 mg de ácido ascórbico, agitar manualmente a bandeja com as amostras até que todo ácido ascórbico esteja dissolvido. Deixar reagir 30 minutos, aferir o aparelho com as soluções padrões 30,90 ppm e 10,30 ppm de P. Fazer a leitura das amostras e anotar os resultados.

NOTA: Considerando que, na extração dos elementos de interesse, utilizou-se 10 mL de solo para 100 mL de solução extratora, houve uma diluição dos elementos presentes no solo por um fator de 10. Esta diluição deve ser compensada após a determinação da concentração, multiplicando-se o resultado obtido por 10.

### 3.2.3 Determinação do potássio trocável

**a) Material:**

- ◆ Balança analítica;
- ◆ Fotômetro de chama;
- ◆ Agitador de mesa circular horizontal;
- ◆ Amostrador padrão (cachimbo de 10 mL);
- ◆ Funil de plástico;
- ◆ Balões volumétricos de 500 mL e 1000 mL;
- ◆ Erlenmeyer de 125 mL;
- ◆ Funil de haste longa sem ranhura;
- ◆ Espátula;
- ◆ Bastão de vidro;
- ◆ Becker de 1000 mL;
- ◆ Frascos de snap-caps de 50 mL;
- ◆ Estufa;

**b) Reagentes:**

- ◆ Ácido sulfúrico PA;
- ◆ Ácido clorídrico PA;
- ◆ Água deionizada;
- ◆ Cloreto de potássio PA;

**c) Preparo das soluções:**

*Solução extratora Mehlich.*

A solução extratora Mehlich também chamada de Carolina do Norte, é constituída por uma mistura de HCl 0,05 mol/L e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol/L. Adicionar 4,2 mL de HCl PA e 0,7 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> PA para mais ou menos 750 mL de água deionizada e completar para 1L em balão volumétrico.

*Solução de ácido clorídrico 0,05 mol/L.*

Adicionar 4,2 mL do ácido clorídrico PA em aproximadamente 500 mL de água deionizada, em seguida completar para 1L em balão volumétrico.

**d) Preparo da curva padrão:**

*Solução estoque 391 ppm.*

Dissolver 0,0746g de Cloreto de potássio PA, previamente seco em estufa por 2 horas a 110 °C, em 500 mL de solução de ácido clorídrico 0,05 mol/L e completar para 1L em balão volumétrico.

*Soluções padrão.*

Foram preparadas a partir da solução estoque citada acima e encontram-se na tabela abaixo.

Tabela 4. Concentração da solução padrão de K em função do volume da alíquota da solução estoque 391 ppm.

Concentração desejada (ppm)	Alíquota da solução estoque (mL)
39,1	10,00
78,2	20,00
117,3	30,00
156,4	40,00

Em balões volumétricos de 100 mL, adicionar uma alíquota da solução estoque de potássio de concentração 391 ppm, segundo a concentração desejada para a solução padrão, conforme estabelecido na Tabela 4, e completar o volume com solução de ácido clorídrico 0,05mol/L. Transferir para frascos apropriados e identificar cada um deles com a concentração correspondente.

Aferir o fotômetro com água deionizada no ponto zero. Levar as quatro soluções padrão ao fotômetro de chama. Efetuar as leituras correspondentes e anotar, sendo recomendado que as leitura do padrão de 78,2 ppm de potássio represente exatamente a metade da escala do galvanômetro. Construir um gráfico com as concentrações de potássio no eixo das abscissas e as leituras na ordenada, forçando a passagem pela origem. Determinar a equação da reta  $y = Fk \cdot x$  onde 'y' é a absorbância, 'x' é a concentração, 'Fk' é o coeficiente angular da reta.

**e) Procedimento:**

Medir com auxílio do amostrador padrão 10 mL de solo (TFSA) e transferir com auxílio de um funil de plástico para um Erlenmeyer de 125 mL. Adicionar 100 mL da solução extratora Carolina do Norte.

Agitar por 5 minutos em agitador de mesa circular horizontal, com a rotação de 180 rpm, não é necessário tampar os Erlenmeyers. Deixar decantando por uma noite.

Pipetar cerca de 50 mL do extrato sem filtrar, passar para um recipiente (snap-cap) de aproximadamente 50 mL.

Ligar o fotômetro de chama 15 minutos antes da realização das análises, após este tempo, aferir o aparelho com a solução-padrão de 78,2 ppm. Fazer as leituras das amostras e anotar os resultados.

NOTA: Considerando que, na extração dos elementos de interesse, utilizou-se 10 mL de solo para 100 mL de solução extratora, houve uma diluição dos elementos presentes no solo por um fator de 10. Esta diluição deve ser compensada após a determinação da concentração, multiplicando-se o resultado obtido por 10.

**3.2.4 - Determinação de cobre e zinco****a) Material:**

- ◆ Espectrofotômetro de absorção atômica GBC;
- ◆ Agitador de mesa circular horizontal;
- ◆ Cachimbo de 10 mL;
- ◆ Funil de plástico;
- ◆ Balões volumétricos de 500 mL e 1000 mL;
- ◆ Erlenmeyer de 125 mL;
- ◆ Funil de haste longa sem ranhura;
- ◆ Frascos de snap-cap;

**b) Reagentes:**

- ◆ Ácido sulfúrico PA;
- ◆ Ácido clorídrico PA;
- ◆ Água deionizada;
- ◆ Ampola de solução de cobre 1000 ppm;
- ◆ Ampola de solução de zinco 1000 ppm;

**c) Preparo das soluções:**

A solução extratora Mehlich também chamada de Carolina do Norte, é constituída por uma mistura de HCl 0,05 mol/L e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol/L. Adicionar 4,2 mL de HCl PA e 0,7 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> PA para mais ou menos 750 mL de água deionizada e completar para 1L em balão volumétrico.

**d) Preparo da curva padrão:***Solução estoque 1000 ppm de Zn e Cu*

Preparar a partir de ampolas comerciais, conforme recomendação do fabricante, soluções estoque para cada elemento (Cu ou Zn), na concentração de 1g/L. Diluir a ampola, com água destilada referente ao elemento a ser analisado para 1L em balão volumétrico.

*Solução de 10 ppm de Cu e Zn*

Em balão volumétrico de 1L, adicionar uma alíquota de 10,00 mL da solução estoque 1000 ppm referente ao elemento Cu ou Zn. Adicionar 10,00 mL de ácido clorídrico PA e completar volume com água deionizada.

*Soluções padrão.*

Foram preparadas a partir da solução 10ppm citada acima e encontram-se nas tabelas abaixo.

Tabela 5. Concentração da solução padrão de Cu em função do volume da alíquota da solução estoque 10ppm.

Concentração desejada ppm	Alíquota da solução estoque 10 ppm de Cu mL
0,05	0,50
0,20	2,50
0,50	5,00
1,00	10,00

Tabela 6. Concentração da solução padrão de Zn em função do volume da alíquota da solução estoque 10ppm.

Concentração desejada (ppm)	Alíquota da solução estoque de 10 ppm de Zn (mL)
0,10	1,00
0,30	3,00
0,75	7,50
1,50	15,00

Em balões volumétricos de 100 mL, adicionar uma alíquota da solução estoque de cobre ou zinco de 10 ppm, segundo a concentração desejada para a solução padrão, conforme estabelecido na Tabela 5 e 6, respectivamente. Adicionar 5,00 mL de HCl PA e completar o volume para 100 mL. Transferir para frascos apropriados e identificar cada um deles com a concentração correspondente as alíquotas pipetadas.

Efetuar as leituras das soluções padrões Cu ou Zn no Espectrômetro de Absorção Atômica e construir um gráfico com as concentrações de cobre ou zinco no eixo das abscissas e as leituras na ordenada. Determinar a equação da reta  $y = ax + b$  onde 'y' é a absorbância, 'x' é a concentração, 'a' é o coeficiente angular da reta e 'b' é a interseção no eixo x.

**e) Procedimento:**

Medir com auxílio de um cachimbo 10 mL de solo (TFSA) e transferir com auxílio de um funil de plástico para um Erlenmeyer de 125 mL. Adicionar 100 mL da solução extratora Carolina do Norte.

Agitar por 5 minutos em agitador de mesa circular horizontal, com a rotação de 180 rpm, não é necessário tampar os Erlenmeyers. Deixar decantando por uma noite.

Pipetar cerca de 50 mL do extrato sem filtrar, passar para um recipiente (snap-cap) de aproximadamente 50 mL.

Efetuar as leituras das soluções padrões Cu ou Zn no Espectro de Absorção Atômica e achar a concentração por interpolação da curva.

NOTA: Considerando que, na extração dos elementos de interesse, utilizou-se 10 mL de solo para 100 mL de solução extratora, houve uma diluição dos elementos presentes no solo por um fator de 10. Esta diluição deve ser compensada após a determinação da concentração, multiplicando-se o resultado obtido por 10.

#### **4. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.**

Os solos do estado do Rio de Janeiro, considerados em seu conjunto, apresentam deficiências em determinados macronutrientes. Essas deficiências serão discutidas para dois macronutrientes: fósforo e potássio, a partir dos dados históricos anualizados desde o ano de 2001. Também serão discutidas as disponibilidades de dois micronutrientes cobre e zinco, para os quais os dados anualizados disponíveis referem-se apenas aos anos de 2008 e 2009.

#### 4.1 Disponibilidade de fósforo

Os resultados obtidos para análise de fósforo foram estratificados em quatro faixas de 0 a 6 mg/dm<sup>3</sup> (muito baixo); de 7 a 12 mg/dm<sup>3</sup> (baixo); de 13 a 18 mg/dm<sup>3</sup> (médio) e maior que 18 mg/dm<sup>3</sup> (bom). Apenas a faixa com concentração de fósforo maior que 18 mg/dm<sup>3</sup> é considerada boa para a agricultura comercial. Em todas as outras faixas, considera-se o solo deficiente neste nutriente (Almeida, 1988).

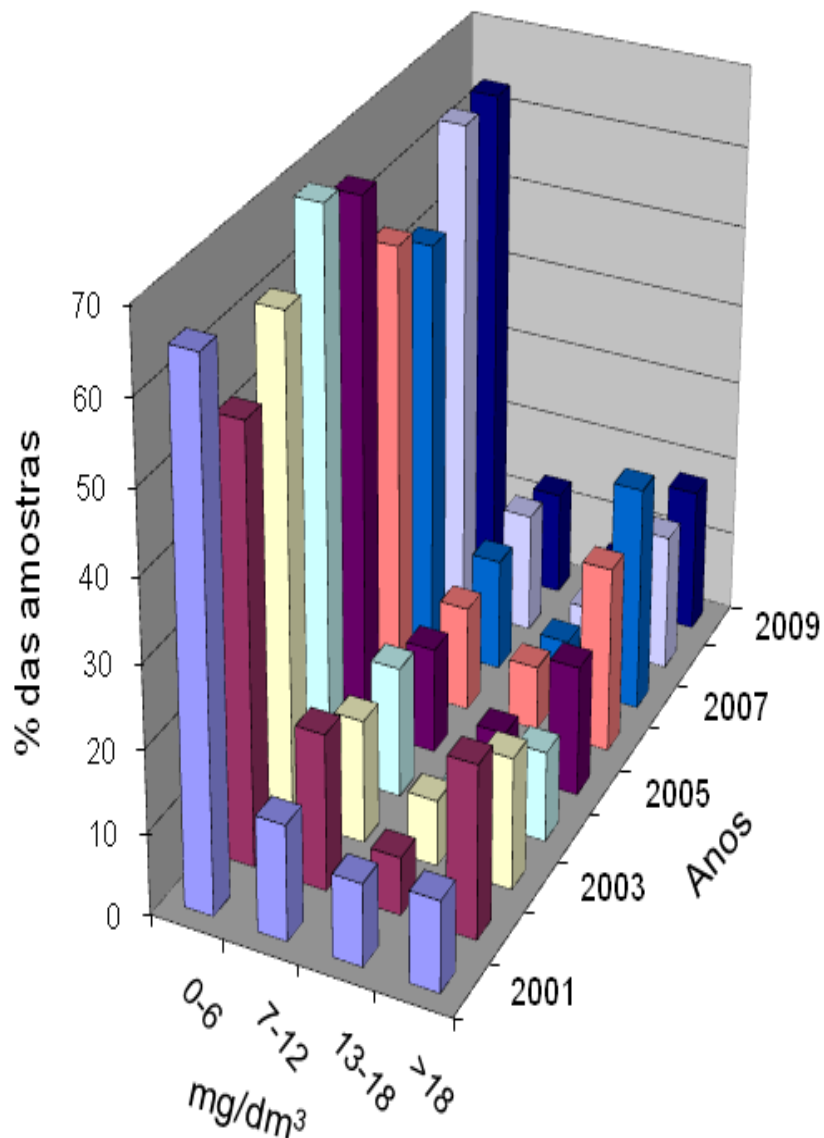


Figura 6 – Estratificação dos resultados obtidos para análises de fósforo (FUNDENOR).



As amostras analisadas conforme representado na figura 6, não necessariamente referem-se às mesmas propriedades nos anos consecutivos, portanto, fica comprometida a nossa capacidade de avaliar possíveis melhorias na disponibilidade de nutrientes em anos consecutivos, devido à adubação feita em anos anteriores. Este parece ser o caso da série que se inicia no ano de 2004 e vai até o ano de 2007. Neste período, observa-se uma diminuição mais ou menos constante na porcentagem dos resultados com concentração de 0 à 6 mg/dm<sup>3</sup>, que cai de 69% em 2004 para 52% em 2007. Consequentemente, ocorre o incremento da porcentagem das amostras com concentração de fósforo maior 18 mg/dm<sup>3</sup>, que aumenta de 11% em 2004 para 28% em 2007. Contudo, no ano de 2008 o percentual de amostras com concentração boa de fósforo cai para 17%, permanecendo neste patamar em 2009. Também a porcentagem de amostras com concentração de fósforo menor que 6 mg/dm<sup>3</sup> permanece constante em 63% no biênio 2008/2009.

Embora haja grande variação nos resultados de ano a ano, o que dificulta qualquer tentativa de observar uma tendência ao longo dos anos, é inegável que a grande maioria das amostras apresenta deficiência em fósforo conforme representado na a figura 6. Na média, entre e 2001 e 2009, cerca de 61% das amostras apresentaram teor de fósforo muito baixo (< 6 mg/dm<sup>3</sup>). Por outro lado, também na média entre 2001 e 2009, apenas 18% das amostras apresentam teor de fósforo considerado boa (> 18 mg/dm<sup>3</sup>). Estes resultados indicam que, muito provavelmente, será necessário corrigir a disponibilidade de fósforo por adubação, o que reforça a necessidade da prática da análise de solo, como forma de definir corretamente a quantidade de adubo necessária e evitar o desperdício.

É curioso notar que as faixas intermediárias para concentrações de fósforo, entre 7 e 12 mg/dm<sup>3</sup> e entre 13 e 18 mg/dm<sup>3</sup>, apresentam pouca variação ao longo dos anos ficando, na média, em 15 e 6%, respectivamente. Esses valores são, inclusive, menores que a porcentagem de amostras com concentração de fósforo considerada boa. Também observa-se que a porcentagem de amostras com concentração de fósforo muito baixa esta inversamente relacionado com a

porcentagem de amostra com concentração boa, variações nestes valores não parecem alterar as faixas intermediárias, mas apenas um ao outro.

#### 4.2 Disponibilidade de potássio

Os resultados obtidos para a análise de potássio foram estratificados em quatro faixas de 0 a 39 mg/dm<sup>3</sup> (muito baixo); de 43 a 78 mg/dm<sup>3</sup> (baixo); de 82 a 117 mg/dm<sup>3</sup> (médio) e maior que 117 mg/dm<sup>3</sup> (bom). Somente a faixa com concentração de potássio maior que 117 mg/dm<sup>3</sup> é considerada boa para as lavouras. As outras faixas são consideradas deficientes neste nutriente (Almeida,1988).

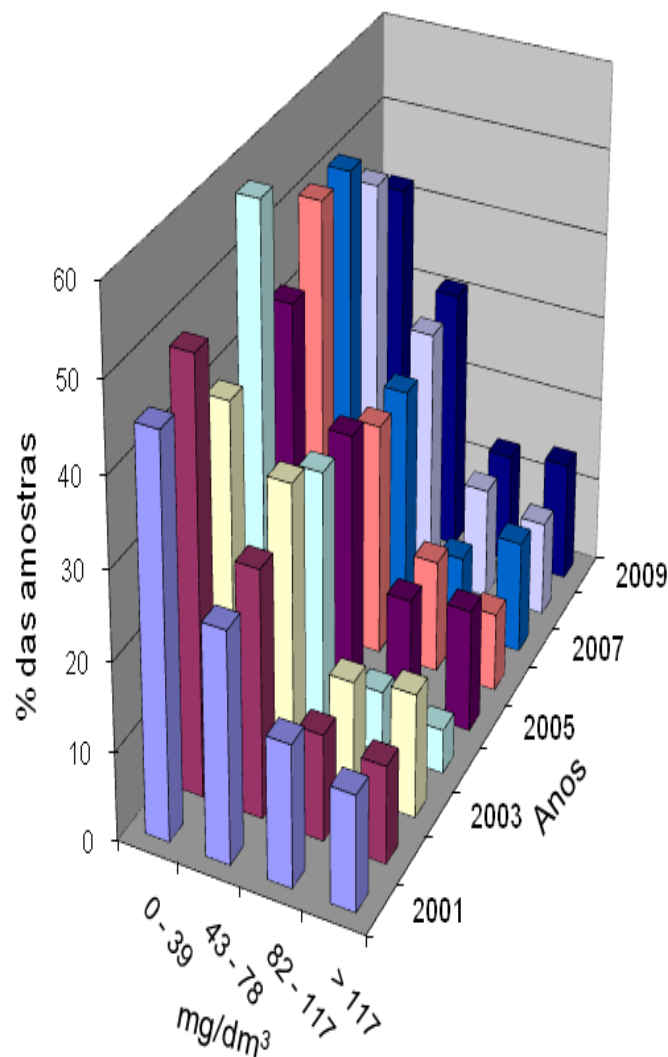


Figura 7 - Estratificação dos resultados obtidos para análises de potássio (FUNDEENOR).

Os dados históricos anualizados a partir de 2001 para o potássio, conforme representado na figura 7 não necessariamente referem-se a solos da mesma propriedade, logo, torna-se difícil a avaliação em anos consecutivos da disponibilidade do potássio no solo, principalmente no que se refere à oscilações ocasionadas por adubações em anos anteriores. Observa-se no ano de 2004, em relação aos outros anos a maior porcentagem de amostra com concentração de potássio menor que  $39 \text{ mg/dm}^3$ , 58%. Consequentemente, em 2004 também observa-se a menor porcentagem de amostra com concentração de potássio maior que  $117 \text{ mg/dm}^3$ , apenas 5%. Porém no ano de 2005 a porcentagem de amostra com concentração menor  $39 \text{ mg/dm}^3$  cai para 43%, enquanto que a porcentagem de amostras com concentração maior que amostra com concentração de potássio maior que  $117 \text{ mg/dm}^3$ , apenas 5%. Porém no ano de 2005 a porcentagem de amostra com concentração menor  $39 \text{ mg/dm}^3$  cai para 43%, enquanto que a porcentagem de amostras com concentração maior que  $117 \text{ mg/dm}^3$  aumenta para 14%. No biênio de 2006/2007, observa-se que a porcentagem dos resultados com concentração de potássio menor  $39 \text{ mg/dm}^3$  permanece mais ou menos constante em torno de 51%. No mesmo período ocorre melhoria na porcentagem dos resultados com concentração de potássio maior que  $117 \text{ mg/dm}^3$ , considerada boa, que aumenta de 9% em 2006 para 13% em 2007. Entre os anos de 2008 e 2009 ocorre uma pequena diminuição na porcentagem de amostra com concentração de potássio menor que  $39 \text{ mg/dm}^3$ , em relação ao biênio anterior, que cai em 2008 para 46% e em 2009 para 42%. Já as amostras com concentração de potássio maior que  $117 \text{ mg/dm}^3$ , representam 11% do total em 2008, passando para 14% em 2009.

De acordo com os resultados anualizados conforme representado na figura 7, concluiu-se que, na média entre 2001 e 2009, cerca de 47% das amostras apresentam teor de potássio muito baixo ( $< 39 \text{ mg/dm}^3$ ). Também na média, somente 12% das amostras apresentam teor de potássio considerado bom ( $> 117 \text{ mg/dm}^3$ ). Observa-se ainda que as concentrações de potássio intermediárias, consideradas baixas, apresentam, na média, cerca de 29% das amostras com teor de potássio de 43 à  $78 \text{ mg/dm}^3$  e 12% das amostras apresentam teor de potássio entre 82 e  $117 \text{ mg/dm}^3$ , média equivalente as amostras que apresentam teor de potássio considerado bom ( $> 117 \text{ mg/dm}^3$ ). Logo, deduz-se que a maior parte das

amostras, 88% apresentam deficiência em potássio, sendo necessária uma correção adequada do solo para suprir esta necessidade.

#### 4.3 Disponibilidade de cobre

Os resultados obtidos para a análise de cobre foram estratificados em duas faixas: menor que  $0,5 \text{ mg/dm}^3$  considerado (baixo) e maior que  $0,5 \text{ mg/dm}^3$  considerado (bom), (Almeida,1988).

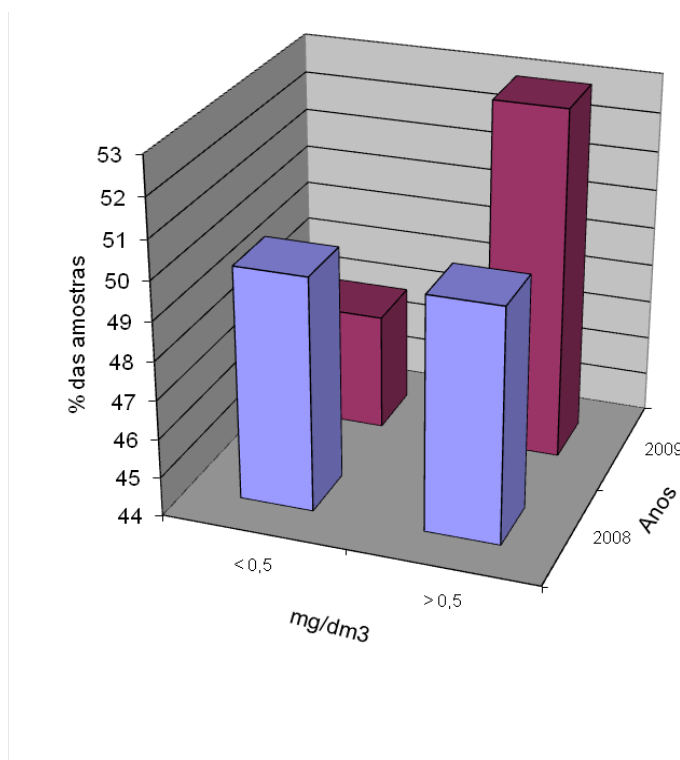


Figura 8 – Estratificação dos resultados obtidos para análises de cobre (FUNDEENOR).

As amostras analisadas conforme representado na figura 8 não necessariamente referem-se às mesmas propriedades nos anos de 2008 e 2009. Observa-se no ano de 2008 um equilíbrio na porcentagem de amostras, de 50% para ambas as concentrações ( $< 0,5 \text{ mg/dm}^3$  e  $> 0,5 \text{ mg/dm}^3$ ) de cobre.

Porém, no ano de 2009, ocorre uma diminuição da porcentagem de amostra com concentração de cobre menor que  $0,5 \text{ mg/dm}^3$  considerado baixo, que cai para 47%. Conseqüentemente ocorre um aumento na porcentagem de amostra com concentração de cobre maior que  $0,5 \text{ mg/dm}^3$  considerada boa, que aumenta para

53%. Devido aos dados anualizados disponíveis para o cobre referirem-se apenas aos anos de 2008 e 2009, torna-se difícil afirmar que esta melhoria indica uma tendência.

#### 4.4 Disponibilidade de zinco

Assim como ocorre para o cobre, os resultados obtidos para a análise de zinco foram estratificados em duas faixas: menor que  $0,5 \text{ mg/dm}^3$  considerado (baixo) e maior que  $0,5 \text{ mg/dm}^3$  considerado (bom), (Almeida,1988).

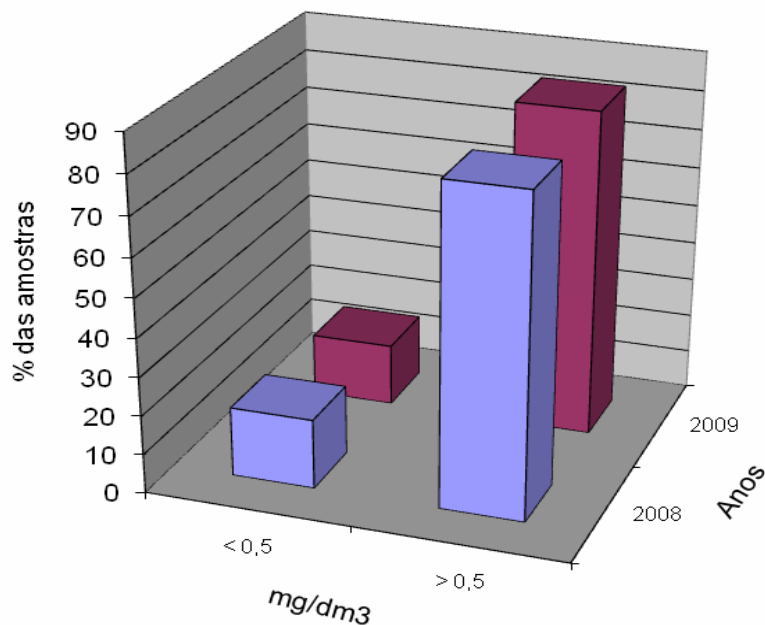


Figura 9 - Estratificação dos resultados obtidos para análises de zinco (FUNDEENOR).

As amostras analisadas conforme representado na figura 9, não necessariamente refere-se às mesmas propriedades nos anos de 2008 e 2009. Observa-se no ano de 2008 que 18% das amostras apresentam concentração de zinco baixa, menor que  $0,5 \text{ mg/dm}^3$ . No ano de 2009 a porcentagem de amostra com a mesma faixa de concentração de zinco menor que  $0,5 \text{ mg/dm}^3$ , diminuiu levemente para 16% do total.

O inverso pode ser observado para concentração de zinco considerada boa, (maior que  $0,5 \text{ mg/dm}^3$ ). Em 2008 82% das amostras apresentam esta

concentração, já em 2009 esta porcentagem teve um leve aumento para 84%. Neste caso, embora os dados só se refiram aos anos de 2008 e 2009, podemos considerar que os solos do Estado do Rio de Janeiro, em sua maioria cerca de 83%, apresenta concentração boa de Zn.

## 5. CONCLUSÃO

Os solos do Estado do Rio de Janeiro, em sua maioria, apresentam sérias deficiências em diversos nutrientes, notadamente em fósforo e potássio. Por outro lado, em alguns casos os nutrientes disponíveis, zinco e cobre encontram-se em níveis bons. Contudo, em quase todas as amostras de solos analisadas, podemos identificar alguma deficiência seja em macro ou micronutrientes. Desta forma, a análise da composição química do solo torna-se uma ferramenta indispensável para a correta adubação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida Dejour Lopes. *Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro*, Editora Universidade Rural; Série Ciências Agrárias nº 2, Seropédica, RJ, 1988. p.81-88

Arnon, D. I. & Stout, P.R. The essentiality of certain elements in minute quality for plants with special reference to copper. *Plant physiol*, Washington, 1939. p.14:371-375.

Asher, c. J. *Beneficial Elements, Functional Nutrients, and Possible New Essential Elements*. IN: J.J. Mortiedt, P. M. Giordano & W.L. Lindsay (eds) *Micronutrients in Agriculture*, 2 nd ed. Soil Science Society of America, Madison, 1991. p.703-723. Apud Silva, Fábio César da "*Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes*", Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia Brasília DF), Embrapa Solos (Rio de Janeiro RJ), Embrapa Informática Agropecuária (Campinas SP), 1999.

Brady, Nyle C., *Natureza e Propriedades dos Solos*, traduzidos por Antonio B. Neiva Figueiredo compêndio universitário sobre edafologia por Harry O. Buckman e, Nyle C. Brady revisto por Nyle C, Brady, 7ª Edição, Freitas Bastos, Rio de Janeiro RJ, 1989. p. 3-9

Chitolina, J.L. *Contribuição de alguns fatores nos resultados da análise química de terra e seus efeitos nas recomendações de adubação e calagem*. Piracicaba: USP-Esalq, 1982 p.200 Tese de Doutorado. Apud Silva, Fábio César da “Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes”, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia Brasília (DF), Embrapa Solos (Rio de Janeiro RJ), Embrapa Informática Agropecuária (Campinas SP), 1999.

CFSEMG – *Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais- 4ª aproximação (no prelo)*. Apud Silva, Fábio César da “Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes”, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia Brasília DF), Embrapa Solos (Rio de Janeiro RJ), Embrapa Informática Agropecuária (Campinas SP), 1999.

CFSEMG – *Comissão de Fertilidade do Solo do Estado – RS/SC (Passo Fundo, RS)*. Recomendações de adubo e calagem pra os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina 3ª Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul, 1995. p.224. Apud Silva, Fábio César da “Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes”, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia Brasília (DF), Embrapa Solos (Rio de Janeiro RJ), Embrapa Informática Agropecuária (Campinas SP), 1999.

Duchaufour, Philipper. 1965. *Précis de Pédologie*, 2ª Ed. Masson e Cia. Paris. Apud Jorge, José Antônio, *Manejo e Adubação: compêndio de edafologia* por José Antônio Jorge, 2ª Edição, São Paulo SP, 1983. p.105.

Embrapa. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. p.271.

Epsten, E. *Nutrição Mineral das Plantas- Princípios e Perspectiva*. Tradução e notas de E. Malavolta. São Paulo SP, Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., 1975. p.341.

Ferreira, P.H. de M., *Princípios de Manejo e Conservação do Solo*, 2ª Edição, São Paulo SP: Nobel, 1981.

Fundenor. Fundação do Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional.

Furtini, Antônio Eduardo Neto, *Fertilidade do Solo*, Editora Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. p. 9-16 e 38-52.

Guerra, A. J. T. Silva, A. S. DA, Botelho, R.G. M. *Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações*, Rio de Janeiro RJ, Bertrang Brasil, 1999. p.340.

Hodgson, J. F. ; Lindsay, W. L. ; Trierweiler, J. F. *Micronutrient cation complexing in soil solution II complexing of zinc and copper in displacing solution from calcareous*. Soil Sci. Proc. Madison, 1996. p.30:723-6.

Jorge, José Antônio, *Solo Manejo e Adubação*, Editora da Universidade de São Paulo SP, 1969, p.90.

Jorge, José Antônio, *Manejo e Adubação: compêndio de edafologia* por José Antônio Jorge, 2ª Edição, São Paulo SP, 1983. p.47-67, 75-79, 95-113 e 118.

Jorge, H.d. *Amostragem do solo para análise química: Porto Velho Embrapa – UEPAE DE Porto Velho*, 1986.p.11( Circular Técnica 8).

Kemphorne, O. Allmaras, R. R. Errors of observation. In: Black, C.A. Evans, D.D. White, J.L. Ensminger, L.E. Clark, F.E. (ed). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison: [s.n.], 1965. part 1, p.1-23. Apud Silva, Fábio César da “*Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes*”, Embrapa Comunicação para



Transferência de Tecnologia Brasília DF) , Embrapa Solos (Rio de Janeiro RJ), Embrapa Informática Agropecuária (Campinas SP), 1999.

Klute, A. Water retention laboratory methods. In: Klute, A. (ed) *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods*. 2ª ed. [S.I.]: American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, 1986. part 1, p.635-662. Apud Silva, Fábio César da “*Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes*”, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia Brasília DF) , Embrapa Solos (Rio de Janeiro RJ), Embrapa Informática Agropecuária (Campinas SP), 1999.

Lepsch, Igo F., *Solos Formação e Conservação*, Edições Melhoramentos ilustrações de Sergerj Gavriloff, Série Prisma Brasil, 2ª edição Campinas SP, 1977. p.6 -15, 39 e 114.

Lepsch, Igo F. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso, 4ª aproximação*. Campinas SP, SBCS, 1983. p175.

Lopes, Alfredo Sherd, *Manual de Fertilidade do Solo*, Editora Gráfica Nagy Ltda, São Paulo SP, ANDA/Potafos, 1989. p.13, 91-99.

Luchesse, Eduardo Bernad, *Fundamentos da Química do Solo*, Editora S.A. Rio de Janeiro RJ: Freitas Bastos, 2001. p.1-3 e 104-115.

Malavolta, E. *Manual de Química Agrícola: Nutrição de plantas e fertilizantes do solo*, São Paulo SP, Editora Agronômica Ceres, 1976. p.528.

Malavolta, E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo SP, Editora Ceres, 2006. p.638.

Millar, C.E. *Soil Fertility*, John Wiley & Sons, Inc. New York,1955. Apud Silva, Fábio César da “*Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes*”, Embrapa

Comunicação para Transferência de Tecnologia Brasília DF) , Embrapa Solos (Rio de Janeiro RJ), Embrapa Informática Agropecuária (Campinas SP), 1999.

Miranda, L.N. de *Amostragem de Solo para análise química*. Brasília: Embrapa-CPAC, 1982 p.15 (Circular Técnica, 11). Apud Silva, Fábio César da “*Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes*”, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia Brasília DF) , Embrapa Solos (Rio de Janeiro RJ), Embrapa Informática Agropecuária (Campinas SP), 1999.

Ortom.1966. *Apostila do Curso de Pós-graduação*. Paris. Apud Jorge, José Antônio, *Manejo e Adubação: compêndio de edafologia* por José Antônio Jorge, 2ª Edição, São Paulo SP,1983. p.113.

Pavan, M.A. Miyazawa, M. *Disponibilidade de manganês no solo: dificuldades e problemas na interpretação da análise para fins de fertilidade*. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.8 n.3, 1984.p. 285-289. Apud Silva, Fábio César da “*Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes*”, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia Brasília DF) , Embrapa Solos (Rio de Janeiro RJ), Embrapa Informática Agropecuária (Campinas SP), 1999.

Raij, Bernado Van, *Avaliação da Fertilidade do Solo*, Piracicaba, Instituto de Potassa/Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1981. p.142.

Raij, Bernado Van, *Fertilidade do Solo e Adubação*, Editora Agronômica Ceres Ltda, associação Brasileira pra pesquisa da potassa e do fosfato, 7ª Edição, Piracicaba SP, 1991.

Resende, Mauro; Nelton, Curi; Santana, Derli Prudente, *Pedologia e Fertilidade do Solo: Interações e Aplicações*, Brasília Ministério da Educação, Editora Lavras ESAL, Piracicaba Potafos, 1988. p.77, 55-59 e 64.

Rio Grande do Sul; Secretaria da Agricultura, *Manual de Conservação do Solo e Água: uso adequado e preservação dos recursos naturais*, 3ª Edição atualizada, Porto Alegre, 1985. p.287

Sanches, P.A. *Suelos del trópico: características y manejo*. Traducción E. Camacho. San José, IICA, 1981. p. 301-353. Apud Silva, Fábio César da "*Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes*", Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia Brasília (DF), Embrapa Solos (Rio de Janeiro RJ), Embrapa Informática Agropecuária (Campinas SP), 1999.

Saraiva, O.F. *Amostragem do solo para avaliação de sua fertilidade: curso de pecuária leiteira*. Coronel Pacheco: Embrapa- CNPGL, 1989. (Embrapa- CGNPGL). Documentos, 38. Apud Silva, Fábio César da "*Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes*", Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia Brasília (DF) , Embrapa Solos (Rio de Janeiro RJ), Embrapa Informática Agropecuária (Campinas SP), 1999.

Santo, Gabriel de Araújo; Salek Ronad C; Rodrigues Luis, *Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro*, Editora UFFR, Série Ciências Agrárias número 2, Coleção Universitária Rural, Itaguaí, 1986. p.1-11.

Segalen, P. 1964. *Le fer ands lês sols*. Orstom Paris. Apud Jorge, José Antônio, *Manejo e Adubação: compêndio de edafologia* por José Antônio Jorge, 2ª Edição, São Paulo SP,1983. p.109.

Sheid, Alfredo Lopes, *Manual de Fertilidade do Solo*, Editora Gráfica Nagy Ltda, São Paulo SP, ANDA/Potafos, 1937. p.13, 91-99.

Silva, Fábio César da *Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes* Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia Brasília DF) , Embrapa Solos (Rio de Janeiro RJ), Embrapa Informática Agropecuária (Campinas SP), 1999. p.11-18,51-73 e 75-79.

Tomé Jr, J.B. *Manual para interpretação de Análise de Solo*, Editora Agropecuária; Guanaíba,1997. p.15-21 e 41-43.