

# MÓDULO 1

## ANÁLISE DE SOLO

Davi José Silva<sup>1</sup>

A avaliação da fertilidade do solo tem por objetivo conhecer a capacidade do solo em sustentar a produção das plantas cultivadas. Existem vários recursos disponíveis de avaliação da fertilidade do solo. Eles podem ser agrupados em:

- a) Observação de sintomas visuais de deficiência de nutrientes em plantas. Esta observação é sempre útil, mas não permite uma avaliação direta da fertilidade do solo. No máximo, é possível detectar carência de nutrientes, em geral em estágio avançado;
- b) Análise de plantas ou de outros tecidos vegetais de plantas que crescem nos solos. A análise de tecido vegetal reflete, de certo modo, a fertilidade do solo, mas não permite avaliá-la. O teor de nutrientes na planta é consequência de um conjunto de fatores que condicionam a sua absorção. Constitui, portanto, uma forma indireta de avaliar a fertilidade do solo, usando a planta como solução extratora;
- c) Ensaio biológicos com plantas superiores. Esses ensaios biológicos constituem a parte mais importante que serve de suporte para avaliação da fertilidade do solo. Em geral, apenas instituições de pesquisa ou algumas organizações melhor estruturadas conseguem realizar ensaios de adubação. Além disso, ensaios de adubação e calagem não permitem uma avaliação direta da fertilidade do solo;
- d) Análise química do solo. A análise de solo pode ser considerada a única técnica que permite a avaliação direta da fertilidade do solo. Além disso, apresenta uma série de vantagens sobre os demais métodos de avaliação da fertilidade do solo: baixo custo, rapidez, pode ser realizada em qualquer época do ano, entre outras.

### 1. Amostragem de solo

Existem vários conceitos para amostra. Todos, basicamente, referem-se à amostra como uma parte de um todo, ou melhor, de uma população. O processo de coleta de amostra é denominado amostragem. Uma das características mais importantes da amostra é a sua representatividade, ou seja, o quão bem a amostra representa a população. A facilidade para uma boa representatividade depende da homogeneidade da população, ou seja, quanto mais homogênea for a população, mais facilmente a sua amostra será representativa.

Os solos são corpos heterogêneos que apresentam variabilidade em superfície (horizontal) e em profundidade (vertical). Portanto, na sua amostragem alguns cuidados deverão ser tomados no sentido de se obter amostras representativas.

A ciência do solo subdivide-se em vários campos de estudo, tais como gênese, classificação, química e fertilidade do solo, dentre outros. Nestes, existem técnicas apropriadas para amostragem dos solos. Como este curso tratará de aspectos de amostragem de solos para fins de química e/ou fertilidade do solo, serão dadas maiores informações a esse respeito.

---

<sup>1</sup> Eng.º. Agr.º., D.Sc., Pesquisador da Embrapa Semi-Árido, Caixa Postal 23, 56300-970 Petrolina-PE. E-mail: davi@cpatsa.embrapa.br

## 1.1. Objetivos da Amostragem em Química e em Fertilidade do Solo

Considerando o destino dos resultados das análises das amostras, estas terão como finalidade a pesquisa e a assistência aos agricultores.

Os objetivos das pesquisas em química e/ou fertilidade de solos são vários. Desse modo, o método de amostragem deverá atender a estes objetivos. Quando o resultado das análises destina-se à assistência aos agricultores, o objetivo básico será a avaliação da fertilidade do solo. Assim, as características da amostra serão generalizadas para a unidade de amostragem (UA<sup>2</sup>). Portanto, a amostra também deverá ser representativa da população.

Na avaliação da fertilidade de um solo, é necessário o conhecimento dos níveis críticos de nutrientes para que não haja limitações na produção pela sua fertilidade. Estes níveis críticos permitem que os diversos nutrientes existentes em níveis inadequados sejam corrigidos pela adubação.

## 1.2. Variabilidade do Solo

O solo é considerado como sendo função do material de origem, clima, relevo, organismos e tempo, os quais são denominados fatores de formação do solo.

Por **material de origem** entende-se como sendo o material do qual o solo se originou. Este material, na maioria das vezes, é a rocha que se encontra abaixo da camada de solo. O solo pode, também, ser constituído de sedimentos provenientes de outras áreas. Os solos formados a partir de materiais transportados tendem a apresentar maior variabilidade do que aqueles formados sobre a própria rocha matriz. Assim, pode-se esperar maior variabilidade em solos aluviais, quando comparados a solos de outras classes.

O **clima** pode variar a curta distância, pois frequentemente encontra-se o termo microclima para se referir a pequenas variações do clima dentro de uma região. Dentre os componentes do fator clima, a precipitação e a temperatura apresentam-se como os mais ativos na formação dos solos, principalmente nas regiões tropicais. Os agentes do clima causam variabilidade tanto em superfície, tal como aquelas ocasionadas pela erosão, como em profundidade, pela lixiviação de nutrientes e partículas do solo. Pode-se esperar que quanto mais variável for o clima de uma região, maior poderá ser a variabilidade dos solos da mesma.

O **relevo**, principalmente a partir do componente topográfico, exerce grande influência na diferenciação dos solos e, conseqüentemente, na variabilidade entre eles. Observa-se, como modelo padrão de uma topossequência, que os solos formados no topo são os mais velhos e profundos e, provavelmente, os que apresentam menor variabilidade. Os da encosta e os mais íngremes são mais jovens que os do topo. Já os solos dos terraços (planícies e várzeas) podem apresentar uma profundidade muito variada. Estes estão recebendo contribuições de solo das áreas sobrejacentes, trazidas pela erosão e pelas águas dos rios, nas enchentes, e são portanto os que certamente irão apresentar maior variabilidade.

O fator **organismos**, onde se inclui a ação do homem, é bastante complexo, causando variabilidade a curta, média e longa distâncias, bem como em profundidade, sendo que essa ação diminui com a profundidade.

O **tempo** não é considerado como fator ativo na formação do solo, quando medido na escala de anos, sua medida é relacionada com séculos. Em função do tempo de formação os solos podem ser classificados em jovens, maduros e velhos. Os solos mais recentes (jovens) normalmente apresentam maior variabilidade de suas características do que os solos mais desenvolvidos (velhos).

---

<sup>2</sup> Por unidade de amostragem entende-se uma área com características relativamente homogêneas em relação a topografia, vegetação, cor, textura, umidade.

Esses fatores de formação do solo não atuam de maneira isolada, mas sim em conjunto e, dependendo das condições locais, a ação de um fator pode sobrepujar a de outro.

A variabilidade é, também, influenciada pelos processos de formação do solo. Esses processos proporcionam o desenvolvimento de características com diferenciados graus de similaridade, que conforme a sua semelhança, permitem que os solos sejam agrupados em diferentes unidades taxonômicas (unidades de classificação). Os fatores e processos de formação do solo ocasionam uma variação nas características químicas, físicas e mineralógicas em três dimensões: superfície e profundidade.

As variações em superfície podem ser classificadas em função da distância na qual elas ocorrem (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação da variabilidade do solo em função da distância na qual elas ocorrem

Classificação da variação	Distância
Microvariações	de cm
Mesovariações	de dm
Macrovariações	de m a dam

As macrovariações, perceptíveis a olho nu na maioria das vezes, permitem subdividir a área a ser amostrada em extratos mais homogêneos. Nesta estratificação, considera-se, além da sua **unidade de classificação taxonômica**, a **vegetação**, a **topografia**, a **cor**, a **textura**, o **sistema de irrigação e drenagem** e o **uso e manejo do solo**. Deve-se considerar a vegetação passada (natural), a atual e a futura, ou seja, aquela que poderá vir a existir na área, conforme o planejamento de uso dos solos. A topografia influencia a profundidade efetiva, a umidade do solo, etc. A cor do solo pode ser reflexo do material de origem, quantidade e qualidade da matéria orgânica e dos teores de Mn, Fe e Al. A textura, que requer prática para sua avaliação no campo, deve ser cuidadosamente observada, pois além da variabilidade do solo, será considerada na fase de interpretação e recomendação de adubação. Deve-se, também, obter informações sobre o histórico de uso dos solos da área.

Após um reconhecimento de toda a área a ser amostrada, e de posse de todas as informações necessárias, procede-se à divisão dessa área em estratos, nos quais as características sejam as mais homogêneas possíveis. Havendo suspeitas sobre a existência de um gradiente dentro de um estrato, este deve ser subdividido perpendicularmente ao gradiente, de forma a identificar a magnitude do gradiente, formando cada uma das subdivisões, um estrato independente. Cada estrato forma, assim, o que se está chamando de unidade de amostragem (UA).

Ao retirar-se amostras por unidade de amostragem, se está separando a variabilidade causada pelas macrovariações. Na Figura 1 está esquematizada a divisão de uma área em unidades de amostragem.

Uma unidade de amostragem pode conter meso e microvariações, as quais são resultantes, principalmente, da decomposição localizada de resíduos orgânicos e/ou aplicações de corretivos e fertilizantes. Essas variabilidades são minimizadas retirando-se amostras compostas.

A variabilidade em profundidade reflete, por um lado, o grau de intensidade de atuação dos agentes do intemperismo e, por outro lado, a reciclagem de nutrientes.

Pode-se perceber pelo que já foi discutido que, sendo o solo um corpo tridimensional com características bastante variáveis, necessário se faz, antes de iniciar sua amostragem, conhecê-lo em um nível de detalhe tal que se possa separar, e bem, as unidades de amostragem.

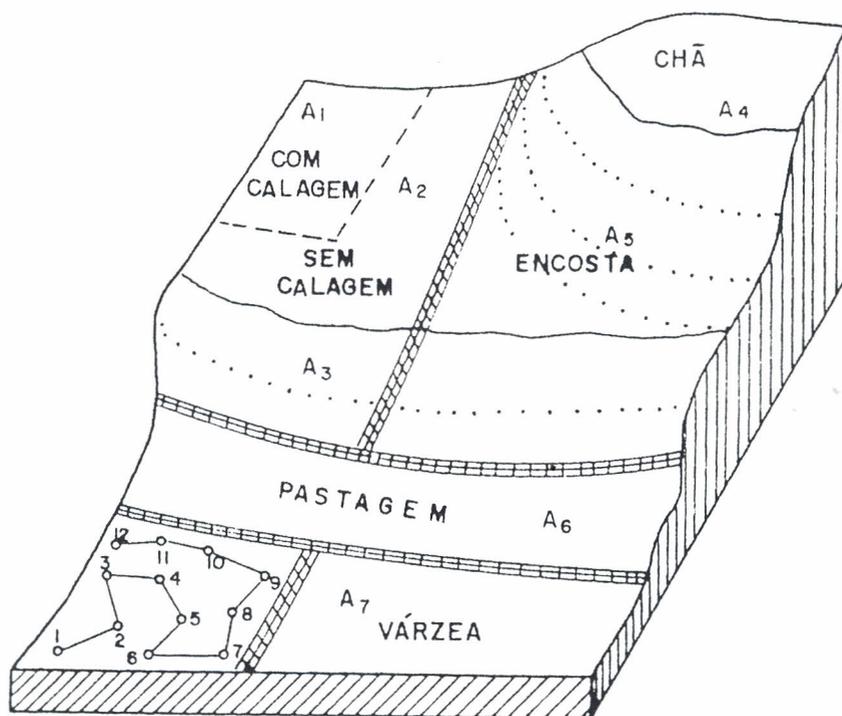


Figura 1. Plano de amostragem de solo em uma propriedade agrícola.

### 1.3. Amostra Simples versus Amostra Composta

Um pergunta bastante comum de ser ouvida é a seguinte: quantas amostras simples é preciso coletar por hectare? ou: quantas amostras são necessárias para se estimar a fertilidade de uma área? Embora se possa pensar que esse número depende da superfície ocupada pela unidade, na realidade, ele não depende do tamanho da UA. Vai depender, sim, da variabilidade do solo. Além disso, ele depende, essencialmente, da característica a ser analisada.

Entende-se como **amostra simples** aquela que foi retirada em um ponto, dentro da unidade de amostragem. **Amostra composta** é aquela que foi obtida pela união de amostras simples de um mesmo tamanho (subamostras) colhidas dentro de uma mesma unidade de amostragem. A razão pela qual deve-se trabalhar sempre com amostras compostas está na necessidade de se querer representar a fertilidade média de uma área. A Figura 2 exemplifica essas duas situações.

Poucos esforços têm sido realizados com vista a se definir o número de subamostras para formar uma amostra composta. A tentativa de se fazer recomendações de número de amostras simples para se formar uma amostra composta, em função do tamanho da área, não goza de nenhum respaldo científico. Numa correta estimativa desse número deverá ser levado em consideração a variabilidade do solo e da característica a ser avaliada.

Embora a unidade de amostragem possa possuir um tamanho bastante grande, há indicações de que não é prático se amostrar áreas superiores a 10 ha, utilizando para isso apenas uma amostra. Em UA muito grandes (100 ha, por exemplo) a amostragem pode ser feita num talhão representativo ( $\pm 10$  ha) dentro da UA. Em propriedades muito grandes, a possibilidade de se estratificar em maior número de UA aumenta. Assim, a amostragem deve ser feita em UA ou talhões que apresentarem situações diferentes, podendo aumentar o número de amostras compostas nas propriedades grandes.

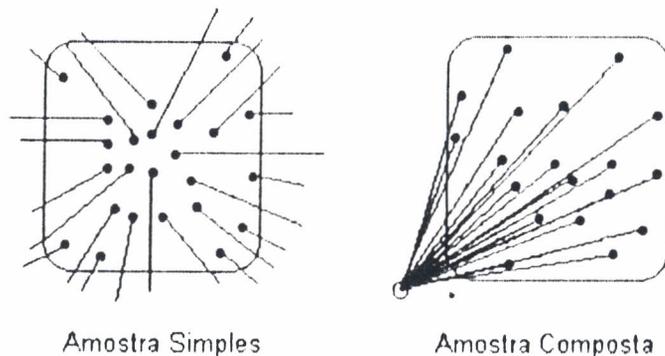


Figura 2. Representação de uma UA, onde pode-se colher amostras simples e uma amostra composta/UA

O número de amostras simples pode ser estimado pela equação:

$$n = (t\alpha CV/f)^2$$

onde:  $t$  = valor  $t$  de Student ao nível de probabilidade  $\alpha$ ;

$f$  = percentagem de variação em torno da média admitida como verdadeira, na obtenção de um resultado analítico na estimativa de certa característica,

$CV$  = coeficiente de variação que expressa o desvio padrão em termos relativos à média.

Portanto, esta equação é utilizada para se estimar o número de subamostras em função da percentagem de variação do erro e do  $CV$ .

Muitos trabalhos já foram realizados com o objetivo de estudar o número de amostras simples a serem retiradas por área, com relação a diferentes percentagens de variação ( $f$ ) em torno do resultado analítico médio verdadeiro. Observou-se que à medida que se aumenta a tolerância de percentagem de variação ( $f$ ) em torno da média, o número de amostras simples para se estimar uma característica é reduzido.

Catani et al. (1954) estudaram o número de amostras a serem retiradas em uma área para se estimar algumas características do solo (Tabela 2). Observa-se que quando se aumentou o número de amostras simples para se formar uma composta, para todas as características estudadas, os resultados apresentaram-se mais uniformes. Recomendam que se retirem amostras compostas de 20 amostras simples para se ter uma boa estimativa das características do solo.

Tabela 2. Distribuição do número de amostras simples ou compostas por classes de fertilidade para carbono orgânico, cálcio e potássio trocáveis em dois solos do Estado de São Paulo

Característica estudada	Classes	Arenito Bauru			Terra Roxa Latossólica		
		30s	10/5	5/20	30s	10/5	5/20
Carbono	Baixo	7	0	0	0	0	0
	Médio	19	10	5	0	0	0
	Alto	4	0	0	30	10	5
Cálcio	Baixo	0	0	0	5	0	0
	Médio	6	1	0	17	10	5
	Alto	24	9	5	8	0	0
Potássio	Baixo	10	5	0	10	2	0
	Médio	17	5	5	9	7	5
	Alto	3	0	0	11	1	0

30s = 30 amostras simples por UA; 10/5 e 5/20 = n° de amostras compostas por UA/n° de amostras simples para formar a amostra composta.

Fonte: Adaptado de Catani et al. (1954)

Estes resultados mostram que, à medida em que se aumenta o número de amostras simples para formar uma composta, a percentagem de variação de erros diminui, sendo que a partir de determinado número de amostras simples, a redução do erro passa a ser muito pequeno.

Para mostrar a importância de se fazer uso de amostras compostas, Catani et al. (1954) fizeram a seguinte afirmação: "os dados analíticos obtidos através de amostras compostas oferecem uma maior segurança que os obtidos de amostras simples, para avaliar a quantidade média de um elemento ou o valor médio de uma característica, numa certa área".

Uma vez reconhecido que a melhor forma de se conhecer a fertilidade média de um solo é através da coleta de amostra composta, resta saber como se devem distribuir as subamostras, ou seja, as amostras simples que vão formar a amostra composta.

#### 1.4. Métodos de Distribuição das Amostras Simples

A retirada de amostras pode seguir vários processos. Entretanto, os mais comuns são os **métodos sistemáticos** e o **aleatório** (Figura 3). Quando o método a ser utilizado é o sistemático, existem vários processos para demarcação dos pontos de amostragem, que são adotados em trabalhos de pesquisa

O método aleatório é o mais comum para se retirarem subamostras de uma UA para formar uma amostra composta. Na obtenção de uma amostra composta, as subamostras devem ser distribuídas em toda a área da UA o mais uniforme possível e ao acaso. O caminhamento em zigue-zague, preferencialmente, deve ser o escolhido.

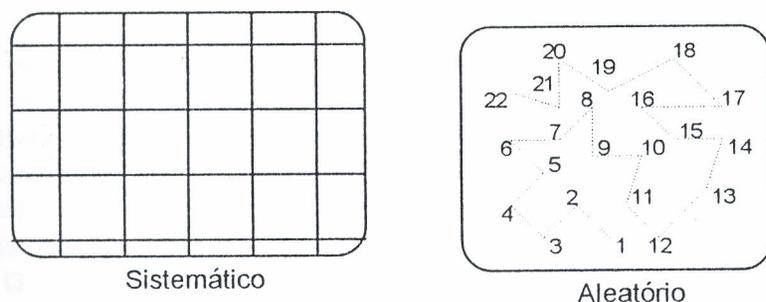


Figura 3. Métodos de distribuição das amostras simples de uma UA.

### 1.5. Profundidade de Amostragem

A profundidade de amostragem ou a camada a ser amostrada deverá ser aquela da qual as plantas retiram a maior parte dos nutrientes, ou seja, onde houver maior concentração do sistema radicular das plantas. Outra indicação da camada de amostragem é observar a camada de preparo do solo e onde será realizada a prática de adubação e/ou calagem. Assim, pode-se perceber que a profundidade de amostragem será função do tipo de cultura a ser instalada (Tabela 3).

Na Tabela 3 são apresentadas algumas sugestões para profundidade de amostragem. Embora variem um pouco, elas representam bem o que foi dito anteriormente. As diferentes profundidades de amostragem para uma mesma cultura devem-se ao fato de que alguns autores recomendam que se amostram maiores profundidades em função do nutrientes a ser analisado, como, por exemplo, enxofre, para o qual se deve amostrar de 40 a 60 cm, ou N disponível, de 80 a 100 cm.

Tabela 3. Profundidade de amostragem para alguns tipos de cultura

Cultura	Profundidade (cm)	Condição
Pastagem	0 – 20	Implantação
Pastagem	0 – 7 ou 8 e 0 – 10	Condução
Anual	0 – 20	Primeiro cultivo
Anual	0 – 15 a 20 e 0 – 20	Cultivos sucessivos
Perene	0 – 30 e 30 – 60 0 – 20 e 20 – 40 0 – 20, 20 – 40 e 40 – 60	Implantação
Perene	0 – 20 e 20 – 50 e 0 – 20	Na linha das plantas Na entrelinha
Perene	0 – 20 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60	Cultura já implantada

Fonte: Adaptado de vários autores

## 1.6. Equipamentos

Uma vez definida qual a profundidade de amostragem, cada subamostra deverá ter o mesmo volume, a fim de que a amostra composta seja formada por subamostras que apresentem, cada uma, a mesma porção de solo, condição indispensável para que esta seja representativa da unidade de amostragem. Para se ter esse mesmo volume, o prisma (enxada, pá, faca) ou o cilindro (trado, sonda) além da mesma profundidade, deve ter a mesma superfície na coleta das amostras simples.

O que ocorre na prática é que o agricultor retira as amostras de solo com o equipamento disponível na propriedade. Deve-se atentar para a adequação do equipamento ao tipo de solo. O trado holandês tem apresentado bom desempenho para qualquer tipo de solo. A pá de corte reto representa uma boa opção para a operação de amostragem em áreas pequenas. As sondas podem ser utilizadas para a amostragem em terra fofa e ligeiramente úmida. Além do tipo de solo, deve-se observar que tipo de análise será realizada na amostra de terra. Para a análise de micronutrientes, recomenda-se que o equipamento de amostragem seja de aço inoxidável, para evitar contaminações com zinco e ferro. Atualmente, já existe disponibilidade destes materiais no mercado. O manuseio da amostra, também, deve ser evitado para prevenir contaminações com sódio e potássio.

## 1.7. Culturas Estabelecidas

As culturas perenes ou de ciclo longo estabelecidas requerem procedimentos especiais para a coleta da amostra de solo, devido ao próprio manejo (movimentação mínima do solo), à aplicação superficial e localizada de fertilizantes, à distribuição radicular, ao crescimento lento, à demanda diferencial de nutrientes durante o ano e à maior capacidade de armazenamento de nutrientes do que a maioria das culturas anuais.

Na estratificação das áreas com culturas perenes, deve-se considerar, também, os seguintes aspectos: idade das plantas, porta enxerto/copa, pé-franco, poda, sistema de condução/adubação, sistema de irrigação, população de plantas, produtividade, plantas livres de vírus, sombreamento, cobertura do solo, cultura intercalar, adubação verde, sistema de manejo das ervas daninhas, sistemas de plantio em linhas simples ou pareadas etc.

Nessas áreas, os fertilizantes são aplicados na superfície, com um mínimo de movimento do solo. Geralmente, os fertilizantes são aplicados sob a projeção da copa das plantas, em sulcos ou semi-círculo, dependendo do sistema de irrigação utilizado. Essa prática, repetida por vários anos, causa, não apenas um gradiente de fertilidade vertical, mas, também, horizontal.

A adubação nitrogenada em culturas perenes causa uma acidificação residual apenas no local de aplicação do fertilizante, cujo grau e profundidade dependem da fonte e da dose de nitrogênio. A Figura 4 ilustra a estratificação vertical da acidez do solo (expressa em valores de pH, Al, Ca e Mg), causada pela adubação nitrogenada em um pomar estabelecido de macieira. A adubação fosfatada, também, causa variações químicas no perfil do solo, devido ao acúmulo de fósforo próximo à superfície, apenas no local de aplicação do fertilizante (projeção da copa das árvores).

Há, ainda, outro aspecto a ser considerado quanto à profundidade de coleta das amostras: embora as culturas perenes tenham um sistema radicular mais profundo, apresentam menor demanda de elementos químicos por volume de solo e por unidade de tempo do que as culturas anuais, devido ao crescimento lento e à absorção diferencial de nutrientes durante o ano. Além dos aspectos inerentes às plantas perenes, também causam gradiente de fertilidade no perfil as características químicas naturais do solo e as alterações químicas decorrentes dos

sistemas de manejo, como adubação verde, plantio adensado, cobertura vegetal viva ou morta, roçada das plantas daninhas, uso de esterco ou outros materiais orgânicos, etc. Em geral, essas técnicas agrônômicas proporcionam acúmulo de matéria orgânica e de nutrientes (principalmente fósforo, cálcio, magnésio e potássio), aumentam o pH e a capacidade de troca catiônica efetiva e diminuem o teor de alumínio no solo. Isso torna necessário que se avalie um maior número de camadas para o diagnóstico da fertilidade.

Com relação ao local de amostragem, recomenda-se coletar amostras de solo separadas: uma no local da adubação (normalmente na projeção da copa das plantas) e outra entre as linhas de plantio ou no centro das ruas (Figura 5).

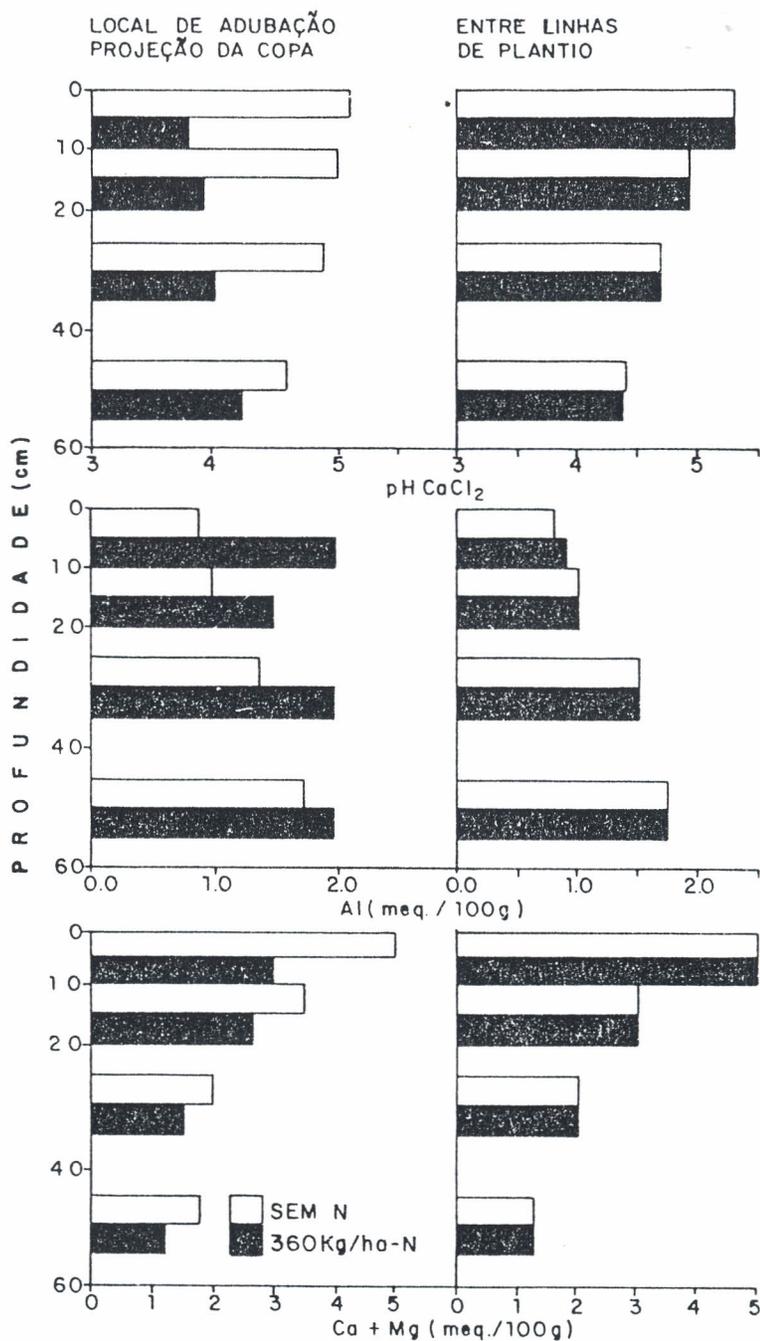


Figura 4. Efeito da adubação nitrogenada na estratificação da acidez do solo em um pomar estabelecido de macieira em Palmas-PR (Adaptado de Pavan, 1992).

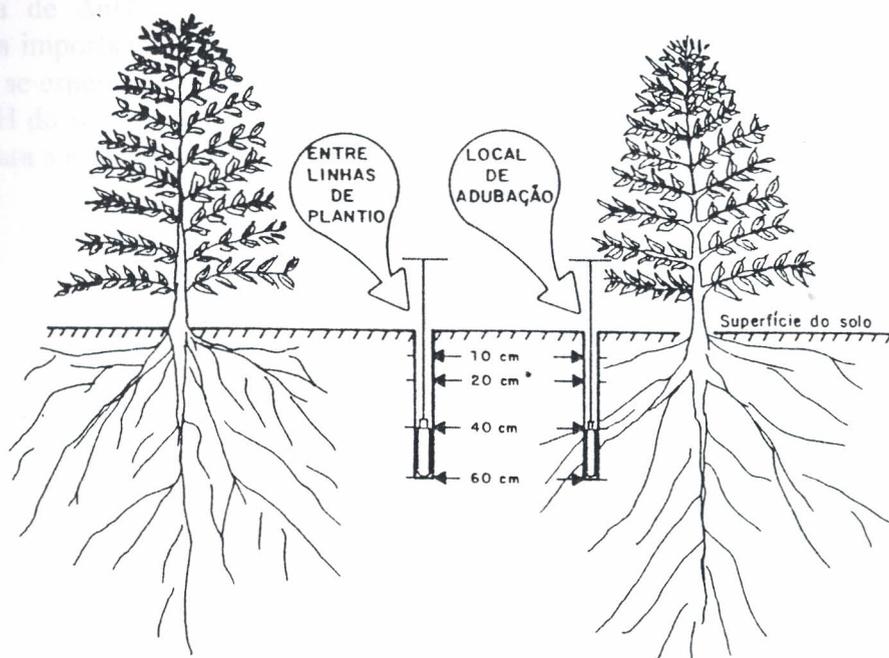


Figura 5. Representação esquemática dos locais de amostragem de solo (local de adubação ou projeção da copa e entre as linhas de plantio ou no centro da rua) e profundidade (0-10, 10-20, 20-40 e 40-60cm) para avaliação da fertilidade em culturas perenes.

## 2. Interpretação dos resultados de análise de solo

O uso de formas de expressão e de unidades diferentes, muitas vezes, dificulta a interpretação dos resultados de uma análise. Levando-se em consideração que em nosso país existem, atualmente, cinco Programas de Análise de Solo, e que cada laboratório de análise está vinculado a um desses Programas, deverão existir diferentes métodos de análise e formas de expressão dos resultados. Em 1993, a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, entidade que congrega estes programas, fez uma tentativa de padronização da forma de expressão dos resultados de análise, adotando o Sistema Internacional de Unidades (SI). Contudo, algumas particularidades no que diz respeito aos múltiplos utilizados na expressão das unidades não foram padronizadas.

O agricultor, muitas vezes, não tem acesso a estas informações. Contudo, os técnicos, principalmente aqueles ligados à assistência técnica, consultores, representantes e revendedores de fertilizantes, devem estar sempre atentos a estas modificações para que possam interpretar os resultados de análise de forma precisa, transmitindo ao agricultor, recomendações corretas de adubação.

### 2.1. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH mede a acidez do solo, numa escala de 0 a 14. Como é expresso em potencial, é uma unidade adimensional. Quanto maior a concentração de íons  $H^+$ , menor será o pH de um solo. A relação solo:solução utilizada pelos laboratórios é 1:2,5, invariavelmente. Como solução extratora, pode-se utilizar  $H_2O$ ,  $KCl$  ou  $CaCl_2$ . A capacidade de extrair íons  $H^+$  da

solução do solo aumenta do primeiro para o último extrator. Assim, para uma mesma amostra de solo, espera-se que o pH em água seja maior que o pH em  $\text{CaCl}_2$ . Esta diferença, denominada de  $\Delta\text{pH}$ , está relacionada com várias características do solo, e pode dar informações importantes a respeito de sua química e fertilidade. Em solos de regiões semi-áridas, é de se esperar que esta diferença seja muito pequena. Na Figura 6 pode-se observar o efeito do pH do solo na disponibilidade dos nutrientes. A faixa de pH 6 a 6,5 é considerada adequada para a maioria das culturas.

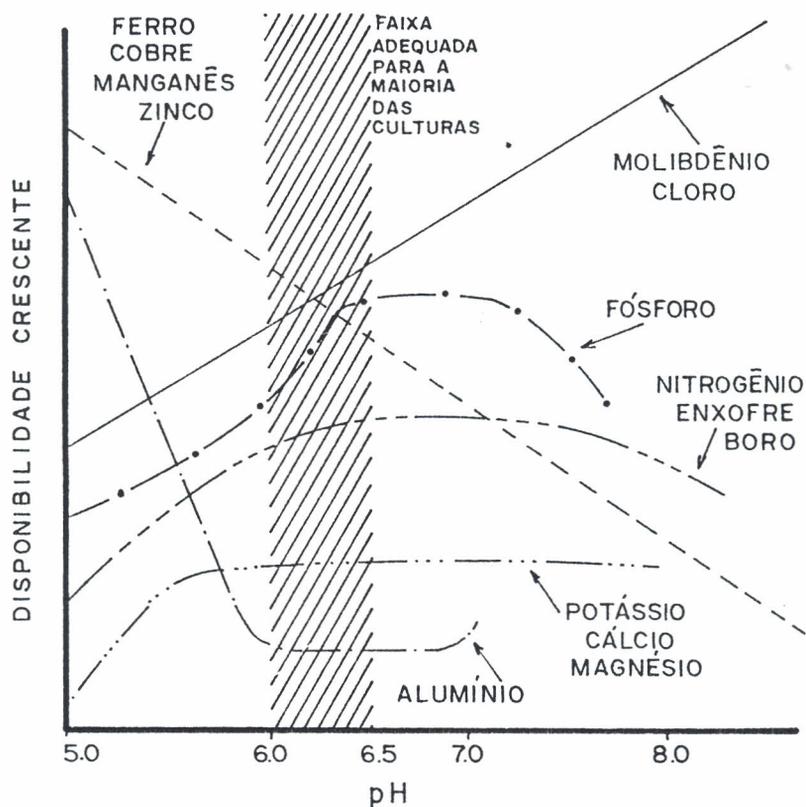


Figura 6. Efeito do pH na disponibilidade dos nutrientes no solo

## 2.2. Condutividade Elétrica do Extrato de Saturação

A condutividade elétrica do solo é uma análise que deve ser realizada em todas as amostras nos laboratórios de regiões semi-áridas. É obtida pelo método da pasta de saturação e fornece informações sobre a presença de sais no solo.

Tradicionalmente expressa em  $\text{mmhos/cm}$ , com a adoção do SI, passou a ser expressa em Siemens por metro ( $\text{S/m}$ ). Contudo, a magnitude do valor não foi alterada, ou seja,  $\text{mmhos/cm} = \text{mS/cm} = \text{dS/m}$

Na Tabela 4 é apresentada uma aplicação da condutividade elétrica do extrato de saturação.

Tabela 4. Classificação, índices relacionados com salinidade e modo de recuperação do solo

Solos	C.E. <sup>1</sup> (dS/m)	pH em água	PST <sup>2</sup>	Recuperação
Normal	< 4,0	-	< 15	-
Salino	> 4,0	< 8,5	< 15	Lavagem dos sais
Sódico	até 4,0	8,5 a 10,0	> 15	Gesso e lavagem
Salino-Sódico	> 4,0	-	> 15	Gesso e lavagem

<sup>1</sup>Condutividade elétrica; <sup>2</sup>Porcentagem de sódio trocável.

### 2.3. Cátions Trocáveis (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>)

A concentração de cátions trocáveis presentes no solo pode ser obtida por diferentes extratores e métodos de determinação. Tradicionalmente expressa em mEq/100 g, mEq/100 cm<sup>3</sup> ou mEq/100 ml, esta unidade foi modificada com a adoção do SI.

A unidade usada para medir concentração no SI é o **mol**. Assim, o conceito de miliequivalente (mEq) deixou de ser utilizado para a expressão de resultados de análise de solo, sendo substituído pelo mol/kg ou mol/dm<sup>3</sup> (com base em peso ou em volume, respectivamente). Estas unidades possuem a seguinte equivalência:

$$1 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3 = 1 \text{ mmol}_c/1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mEq}/100 \text{ cm}^3 \times 10$$

Para evitar o uso deste fator de conversão, a maior parte dos Programas de análise adota como múltiplo, o cmol<sub>c</sub>, sendo que:

$$1 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3 = 1 \text{ mEq}/100 \text{ cm}^3$$

Da mesma forma que são expressas em relação a volume, estas unidades também podem ser expressas em relação a peso, ou seja:

$$1 \text{ mmol}_c/\text{kg} = 1 \text{ mmol}_c/1000 \text{ g} = 1 \text{ mEq}/100 \text{ g} \times 10$$

$$1 \text{ cmol}_c/\text{kg} = 1 \text{ mEq}/100 \text{ g}$$

Da mesma maneira,

$$1 \text{ cmol}_c/\text{kg} \times 10 = 1 \text{ mmol}_c/\text{kg}$$

Estas unidades são, ainda, utilizadas para expressar os resultados de análise de todo o complexo sortivo do solo (Al<sup>3+</sup>, H+Al, Sb, t e T)

### 2.4. Fósforo disponível e micronutrientes

Os teores de fósforo disponível e de micronutrientes são, tradicionalmente, expressos em partes por milhão (ppm). Como esta unidade não informa se a medição foi realizada com base em peso (kg) ou em volume (dm<sup>3</sup> ou L), tornou-se obsoleta. Além disso, essa unidade não faz parte do SI. A unidade usada para expressar a concentração desses elementos no solo é o **mg/kg** ou o **mg/dm<sup>3</sup>** (com base em peso ou em volume, respectivamente), o que nada mais é do que ppm.

$$\text{ppm} = \mu\text{g}/\text{cm}^3 = \text{mg}/\text{dm}^3 = \text{mg}/\text{kg}$$

## 2.5. Carbono orgânico e matéria orgânica

A porcentagem, usada para expressar a concentração de carbono orgânico e de matéria orgânica no solo, também deixou de ser utilizada, por deixar de expressar a base da medição: em peso ou em volume. Assim, passou-se a utilizar **g/kg** ou **g/dm<sup>3</sup>**, que são unidades do SI, para expressar os teores de carbono orgânico e de matéria orgânica

Como porcentagem refere-se a g/100 g, estas unidades do SI representam um valor com a magnitude 10 vezes maior do que porcentagem.

Assim:  $\% \times 10 = \text{g}/\text{kg}$  (ou  $\text{g}/\text{dm}^3$ )

## 2.6. Forma de expressão dos resultados

A forma de apresentação das unidades também foi alterada. A unidade que ficava no denominador, sob a barra, passou para o numerador, sendo elevada a potência negativa. Contudo, as duas formas de expressão podem ser utilizadas.

Exemplos:

$$\begin{aligned} \text{g}/\text{kg} &= \text{g kg}^{-1} \\ \text{cmol}/\text{dm}^3 &= \text{cmol}_c \text{dm}^{-3} \\ \text{mg}/\text{kg} &= \text{mg kg}^{-1} \end{aligned}$$

## 3. Bibliografia

- ALVAREZ V., V.H. **Avaliação da fertilidade do solo**. Brasília: ABEAS, 1994. 98p. Apostila do Curso de Fertilidade e Manejo do Solo.
- CATANI, R.A.; GALLO, J.R.; GARGANTINI, H. Amostragem de solo para estudos de fertilidade. **Bragantia**. Campinas, vol. 14, p. 19-26, 1954.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Amostragem de solo para análise química: plantio direto e convencional, culturas perenes, várzeas, pastagens capineiras**. Londrina, 1996. 28p.il. (IAPAR. Circular, 90)
- PAVAN, M.A. Estratificação da acidez do solo devido a adubação nitrogenada em pomares estabelecidos de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Cruz das Almas, vol. 4, nº 2, p. 135-138, 1992.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, POTAFOS, 1991. 343p.